

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**Problematika kvality elektrické energie nejen v České  
Republice**  
**The Issue of Power Quality not only in the Czech Republic**

Rok: 2014

Bc. Vojtěch Daniel

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Vojtěch Daniel**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika

Téma: **Problematika kvality elektrické energie nejen v České Republice**  
**The Issue of Power Quality not only in the Czech Republic**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky kvality elektrické energie v ČR, EU
2. Odlišnosti v oblasti PQ v porovnání s požadavky na PQ v České republice
3. Technické prostředky pro monitorování parametrů kvality
4. Ukázky vyhodnocení především z míst s nevyhovujícími parametry kvality

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Santarius P.: Elektromagnetická kompatibilita, Učební texty VŠB-TUO, Ostrava, 2007
2. ČSN EN 50160 ed. 3: Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě
3. Další normy a předpisy
4. Další literatura podle pokynu vedoucího diplomové práce

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Petr Krejčí, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
*vedoucí katedry*



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
*děkan fakulty*

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Na tomto místě bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Petrovi Krejčímu, Ph. D. za vedení a cenné rady při vedení mé diplomové práce.

V Ostravě dne 7.5.2014

  
.....  
Vojtěch Daniel

## Abstrakt:

Tato práce obsahuje čtyři kapitoly, které popisují kvalitativní parametry napájecího napětí a jejich následné vyhodnocení. Náplní první částí teoretické části je popis základních charakteristik všech hladin napětí. V další kapitole jsou uvedeny srovnání limitů charakteristik napětí vybraných zemí s limity pro napětí v České republice. V následující kapitole jsou uvedeny příklady používaných přístrojů pro měření a sledování kvality elektrické energie. Účelem těchto kapitol je uvést čtenáře do problematiky kvality elektrické energie a slouží jako příprava pro vyhodnocení parametrů kvality elektrické energie v souladu s normou ČSN EN 50160 (Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí). Závěrečná část práce je věnována vyhodnocení z měřených míst s nevyhovujícími parametry. Jsou zde uvedeny také příklady nevyhovujících naměřených hodnot ze Slovinska a Portugalska.

## Klíčová slova:

analýza, elektrická síť, frekvence, napájecí napětí, flikr, pokles napětí, přepětí, přerušení napětí, nesymetrie napětí, harmonická napětí, mezipharmonická napětí, analyzátor

## Abstract:

This thesis contains four chapters, which describe quality parameters of supply voltage and their follow-up evaluation. Content of first part of theoretical section is description of basic characteristics of all voltage levels. The next part provides comparisons of voltage characteristics limits and limits of voltage in Czech republic. The following section provides examples of devices used for measuring and monitoring of power quality. The purpose of these chapters is to introduce the reader to the problems of power quality and serves as a preparation for the evaluation of power quality parameters in accordance with ČSN EN 50160 (Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks). The final part is dedicated to the evaluation of the measured points with unsatisfactory parameters. It also contains examples of unsatisfactory readings from Slovenia and Portugal.

## Key words:

Analysis, electrical network, frequency, supply voltage, flicker, voltage drop, overvoltage, voltage interruption, voltage unbalance, harmonic voltage, interharmonic voltage, analyzer

## Seznam použitých symbolů a zkratek:

f	frekvence	Hz
T	perioda	s
$U_c$	napájecí napětí	V
$U_n$	jmenovité napětí	V
u	okamžitá hodnota napětí	V
$P_{st}$	krátkodobá míra vjemu	-
$P_{lt}$	dlouhodobá míra vjemu	-
$u_u$	nesymetrie napětí	%
$V_i$	zpětná složka	V
$V_d$	sousledná složka	V
THD	celkový činitel celkového harmonického zkreslení	%
THDU	celkový činitel celkového harmonického zkreslení napětí	%
THDI	celkový činitel celkového harmonického zkreslení proudu	%
$u_h$	relativní amplituda harmonické	V
NN	nízké napětí	V
VN	vysoké napětí	V
VVN	velmi vysoké napětí	V
ČSN	česká technická norma	
PPDS	Pravidla provozování distribučních soustav	

## Obsah:

1 Úvod .....	1
2 Úvod do problematiky kvality elektrické energie v ČR, EU .....	2
2.1 Kmitočet sítě .....	2
2.2 Velikost napájecího napětí .....	3
2.3 Odchytky napájecího napětí .....	3
2.4 Rychlé změny napětí .....	3
2.4.1 Velikost rychlých změn napětí .....	4
2.4.2 Míra vjemu flikru .....	4
2.5 Napěťové jevy .....	5
2.5.1 Poklesy napájecího napětí .....	5
2.5.2 Přerušení napětí .....	6
2.5.2.1 Krátkodobá přerušení napájecího napětí .....	7
2.5.2.2 Dlouhodobá přerušení napájecího napětí .....	7
2.6 Nesymetrie napájecího napětí .....	7
2.7 Harmonické napětí .....	8
2.8 Meziharmonická napětí .....	10
2.9 Napětí síťových signálů v napájecím napětí .....	11
2.10 Přepětí .....	11
2.11 Dočasná přepětí síťového kmitočtu mezi vodiči pod napětím a zemí .....	12
2.12 Přejídná přepětí mezi vodiči pod napětím a zemí .....	12
3. Odlišnosti v oblasti PQ v porovnání s požadavky na PQ v České Republice .....	13
3.1 Kypr .....	13
3.2 Maďarsko .....	13
3.3 Itálie .....	14
3.4 Lotyšsko .....	15
3.5 Nizozemí .....	15
3.6 Norsko .....	16
3.7 Portugalsko .....	18
3.8 Švédsko .....	19
3.9 Čína .....	21
3.10 Jihoafrická republika .....	22
3.11 Zambie .....	23
4. Technické prostředky pro monitorování parametrů kvality .....	25
4.1 Fluke 437 - II .....	25
4.2 ELCOM ENA 500 .....	26
4.3 KMB Systems - SMPQ 33 .....	27
4.4 Chauvin Arnoux 8435 .....	28
4.5 MEg 40 .....	28
4.6 HIOKI - PW3198 .....	29
4.7 EXTECH - PQ3470 .....	30
4.8 DRANETZ - PowerGuide 4400 .....	31
4.9 HT - PQA823 .....	31
4.10 Tektronix - PA4000 .....	32
5. Ukázky vyhodnocení z míst s nevyhovujícími parametry kvality .....	34

5.1 Frýdek-Místek .....	34
5.1.1 Vyhodnocení dat z místa FM-NN-1 .....	34
5.1.1.1 Nevyhovující .....	34
5.1.1.2 Vyhovující .....	35
5.1.2 Vyhodnocení dat z místa FM-NN-2 .....	36
5.1.2.1 Nevyhovující .....	36
5.1.2.2 Vyhovující .....	37
5.1.3 Vyhodnocení dat z místa FM-VN .....	38
5.1.3.1 Nevyhovující .....	38
5.1.3.2 Vyhovující .....	39
5.1.4 Vyhodnocení dat z místa FM-VVN.....	40
5.2 Opava.....	41
5.2.1 Vyhodnocení dat z místa OP-VN-2 za rok 2001 .....	41
5.2.2 Vyhodnocení dat z místa OP-VN-2 za rok 2004.....	43
5.2.4.1 Vyhodnocení dat z místa OP-VN-1 za rok 2007 .....	45
5.2.4.2 Vyhodnocení dat z místa OP-VN-2 za rok 2007 .....	46
5.3 Přerov .....	47
5.3.1 Vyhodnocení dat z místa PR-VN za rok 2008 .....	47
5.3.1.1 Nevyhovující (1).....	47
5.3.1.2 Nevyhovující (2).....	49
5.3.2 Vyhodnocení dat z místa PR-VN za rok 2012 .....	50
5.4 Ostrava.....	52
5.4.1 Vyhodnocení dat z místa OS-NN za rok 1999 .....	52
5.4.1 Vyhodnocení dat z místa OS-NN za rok 2002 .....	55
5.4.2 Vyhodnocení dat z místa OS-NN za rok 2003 .....	58
6. Kvalita elektrické energie v dalších zemích .....	63
6.1 Republika Slovinsko.....	63
6.2 Portugalsko .....	66
7. Závěr:.....	68



## Seznam tabulek:

Tab.1: Povolené odchylky pro systémy s a bez synchronního připojení k propojenému systému dle [1] pro sítě NN, VN a VVN .....	2
Tab.2: Povolený výskyt rychlých změn napětí .....	3
Tab.3: Četnost výskytů poklesů a přerušení napětí v distribuční síti dle [5] .....	5
Tab.4: Plánovaná přerušení za rok 2009 dle [4] .....	7
Tab.5 : Úrovně jednotlivých harmonických napětí v předávacím místě v procentech $u_1$ , pro řády harmonických až do 25 pro soustavy NN a VN .....	9
Tab.6 : Úrovně jednotlivých harmonických napětí v předávacím místě v procentech $u_1$ , pro řády harmonických až do 25 pro soustavy VVN .....	9
Tab.7: Velikost maximálních amplitud harmonické $u_h$ pro sítě VVN .....	10
Tab. 8: Srovnání limitů Itálie a České Republiky dle [11] .....	14
Tab. 9 : Srovnání limitů Nizozemí a České Republiky .....	15
Tab. 10: Srovnání limitů Norska a České Republiky .....	16
Tab. 11: Dovolené harmonické napětí dle [6] pro napětí od 35 kV do 245 kV .....	17
Tab. 12: Dovolené harmonické napětí dle [6] pro napětí od 245 kV výše .....	17
Tab. 13: Srovnání limitů Portugalska a České Republiky .....	18
Tab. 14 : Srovnání limitů Švédska a České Republiky .....	19
Tab. 15: skupiny poklesů pro napětí do 45 kV .....	20
Tab.16: skupiny poklesů pro napětí nad 45 kV .....	20
Tab.17: skupiny přepětí napětí do 1 kV .....	20
Tab. 18 : Srovnání limitů Číny a České Republiky .....	21
Tab. 19: Srovnání limitů Jihoafrické Republiky a České republiky .....	22
Tab. 20 : Srovnání limitů Zambie a České republiky .....	23
Tab. 21: Hodnoty maximálních dovolených hodnot jednotlivých harmonických .....	23
Tab. 22: Počet dovolených poklesů napětí .....	24
Tab. 23: definice třídy A .....	25
Tab. 24: Tabulka vyhodnocených nevyhovujících hodnot v místě FM-NN-A .....	34
Tab. 25: Tabulka vyhodnocených vyhovujících hodnot v místě FM-NN-A .....	35
Tab. 26: Tabulka vyhodnocených nevyhovujících hodnot v místě FM-NN-C .....	36
Tab. 27: Tabulka vyhodnocených vyhovujících hodnot v místě FM-NN-2 .....	37
Tab. 28: Tabulka vyhodnocených nevyhovujících hodnot v místě FM-VN .....	38
Tab. 29: Tabulka vyhodnocených vyhovujících hodnot v místě FM-VN .....	39
Tab. 30: Tabulka vyhodnocených nevyhovujících hodnot v místě FM-VVN .....	40
Tab. 31: Tabulka vyhodnocených nevyhovujících hodnot v místě OP-VN-2-2001 .....	41
Tab. 32: Tabulka vyhodnocených nevyhovujících hodnot v místě OP-VN-2-2004 .....	43
Tab. 33: Tabulka vyhodnocených nevyhovujících hodnot v místě OP-VN-1-2007 .....	45
Tab. 34: Tabulka vyhodnocených nevyhovujících hodnot v místě OP-VN-2-2007 .....	46
Tab. 35: Tabulka vyhodnocených nevyhovujících hodnot v místě PR-VN-2008 (1) .....	48
Tab. 36: Tabulka vyhodnocených nevyhovujících hodnot v místě PR-VN-2008 (2) .....	49
Tab. 37: Tabulka vyhodnocených nevyhovujících hodnot v místě PR-VN-2012 .....	51
Tab. 38: Tabulka vyhodnocených nevyhovujících hodnot v místě OS-NN-1999 .....	52
Tab. 39: Tabulka jednotlivých harmonických v místě OS-NN-1999 .....	54
Tab. 40: Tabulka vyhodnocených nevyhovujících hodnot v místě OS-NN-2002 .....	55

<i>Tab. 41: Tabulka jednotlivých harmonických v místě OS-NN-2002 .....</i>	<i>57</i>
<i>Tab. 42: Tabulka vyhodnocených nevyhovujících hodnot v místě OS-NN-2003.....</i>	<i>59</i>
<i>Tab. 43: Tabulka jednotlivých harmonických v místě OS-NN-2003 .....</i>	<i>61</i>
<i>Tab. 44: Tabulka poklesů a dočasných zvýšení napětí za rok 2008 na hladině 10,20 a 35 kV</i>	<i>63</i>
<i>Tab. 45: Tabulka poklesů a dočasných zvýšení napětí za rok 2009 na hladinách 10,20 a 35 kV .....</i>	<i>64</i>
<i>Tab. 46: Tabulka poklesů a dočasných zvýšení napětí za rok 2008 na hladině 110 kV.....</i>	<i>64</i>
<i>Tab. 47: Tabulka poklesů a dočasných zvýšení napětí za rok 2009 na hladině 110 kV.....</i>	<i>64</i>
<i>Tab.48: Tabulka kvality elektrické energie za rok 2008 na hladinách 10,20 a 35 kV .....</i>	<i>65</i>
<i>Tab.49: Tabulka kvality elektrické energie za rok 2009 na hladinách 10,20 a 35 kV .....</i>	<i>65</i>
<i>Tab. 50: Tabulka kvality elektrické energie za rok 2008 na hladině 110 kV .....</i>	<i>65</i>
<i>Tab. 51: Tabulka kvality elektrické energie za rok 2009 na hladině 110 kV .....</i>	<i>66</i>
<i>Tab. 52: Tabulka poklesů napětí za rok 2007 na hladině 60 kV .....</i>	<i>66</i>
<i>Tab. 53: Tabulka poklesů napětí za rok 2008 na hladině 60 a 150kV .....</i>	<i>67</i>
<i>Tab. 54: Tabulka poklesů napětí za rok 2009 na hladině 60 a 150kV .....</i>	<i>67</i>
<i>Tab. 55: Tabulka výsledných hodnot .....</i>	<i>69</i>

## Seznam obrázků:

<i>Obr. 1: Charakteristika vnímání flikru pro napěťové změny</i>	4
<i>Obr. 2: Změna světelného toku způsobená dočasnou změnou velikosti napětí</i>	5
<i>Obr. 3: Graf poklesu napětí a krátkodobé přerušení napětí</i>	6
<i>Obr. 4: příklad symetrické a nesymetrické napájecí soustavy</i>	8
<i>Obr. 5: Znázornění 1., 3. a 5. harmonické složky</i>	10
<i>Obr. 6: Úrovně napětí na kmitočtech signálů v % <math>U_n</math> v sítích.</i>	11
<i>Obr. 7: Porovnání jednotlivých harmonických napětí pro Portugalsko a IEC 50160 pro vysoké napětí</i>	18
<i>Obr. 8: Porovnání jednotlivých harmonických napětí pro Portugalsko a IEC 50160 pro vvn.</i>	19
<i>Obr. 9: Porovnání jednotlivých harmonických napětí pro Čínu a IEC 50160</i>	21
<i>Obr. 10: Porovnání jednotlivých harmonických napětí pro Jihoafrickou Republiku a IEC 50160</i>	22
<i>Obr. 11: Analyzátor 437 II</i>	26
<i>Obr. 12: Analyzátor ENA 500.13</i>	27
<i>Obr. 13: Analyzátor SMPQ 33</i>	27
<i>Obr. 14: analyzátor C.A 8435</i>	28
<i>Obr. 15: Analyzátor MEG 40</i>	29
<i>Obr. 16: Analyzátor PW3198</i>	30
<i>Obr. 17: Analyzátor PQ3470</i>	30
<i>Obr. 18: Analyzátor PowerGuide 4400</i>	31
<i>Obr. 19: analyzátor PQA823</i>	32
<i>Obr. 20: analyzátor PA4000</i>	33
<i>Obr. 21: graf nevyhovujícího průběhu Plt z FM-NN-1</i>	35
<i>Obr. 22: graf vyhovujícího průběhu Plt z FM-NN-1</i>	36
<i>Obr. 23: graf nevyhovujícího průběhu Plt z FM-NN-2</i>	37
<i>Obr. 24: graf vyhovujícího průběhu Plt z FM-NN-2</i>	38
<i>Obr. 25: graf nevyhovujícího průběhu Plt z FM-VN</i>	39
<i>Obr. 26: graf vyhovujícího průběhu Plt z FM-VN</i>	40
<i>Obr. 27: graf vyhovujícího průběhu Plt z FM-VVN</i>	41
<i>Obr. 28: graf nevyhovujícího průběhu napětí z OP-VN-2-2001</i>	42
<i>Obr. 29: graf nevyhovujícího průběhu nesymetrie z OP-VN-2-2001</i>	42
<i>Obr. 30: graf vyhovujícího průběhu Plt z OP-VN-2-2001</i>	43
<i>Obr. 31: graf nevyhovujícího průběhu napětí z OP-VN-2-2004</i>	44
<i>Obr. 32: graf nevyhovujícího průběhu nesymetrie z OP-VN-2-2004</i>	44
<i>Obr. 33: graf nevyhovujícího průběhu Plt z OP-VN-1-2007</i>	45
<i>Obr. 34: graf nevyhovujícího průběhu nesymetrie z OP-VN-2-2007</i>	46
<i>Obr. 35: graf nevyhovujícího průběhu nesymetrie z OP-VN-2-2007</i>	47
<i>Obr. 36: graf nevyhovujícího průběhu Plt z PR-VN-2008(1)</i>	48
<i>Obr. 37: graf nevyhovujícího průběhu nesymetrie z PR-VN-2008(1)</i>	49
<i>Obr. 38: graf vyhovujícího průběhu Plt z PR-VN-2008 (2)</i>	50
<i>Obr. 39: graf nevyhovujícího průběhu nesymetrie z PR-VN-2008 (2)</i>	50
<i>Obr. 40: graf nevyhovujícího průběhu <math>P_{lt}</math> z PR-VN-2012</i>	51
<i>Obr. 41: graf nevyhovujícího průběhu nesymetrie z PR-VN-2012</i>	52

<i>Obr. 42: graf nevyhovujícího průběhu flikru <math>P_{lt}</math> z OS-NN-1999</i>	53
<i>Obr. 43: graf nevyhovujícího průběhu THDu z OS-NN-1999</i>	53
<i>Obr. 44: graf nevyhovujícího průběhu 3. harmonické z OS-NN-1999</i>	55
<i>Obr. 45: graf nevyhovujícího průběhu <math>P_{lt}</math> z OS-NN-2002</i>	56
<i>Obr. 46: graf nevyhovujícího průběhu THDu z OS-NN-2002</i>	56
<i>Obr. 47: graf nevyhovujícího průběhu 3. harmonické z OS-NN-2002</i>	58
<i>Obr. 48: graf nevyhovujícího průběhu 9. harmonické z OS-NN-2002</i>	58
<i>Obr. 49: graf nevyhovujícího průběhu <math>P_{lt}</math> z OS-NN-2003</i>	59
<i>Obr. 50: graf nevyhovujícího průběhu činitele THD z OS-NN-2003</i>	60
<i>Obr. 51: graf nevyhovujícího průběhu 3. harmonické z OS-NN-2003</i>	62
<i>Obr. 52: graf nevyhovujícího průběhu 9. harmonické z OS-NN-2003</i>	62
<i>Obr. 53: Rozdělení Republiky Slovinsko</i>	63

# 1 Úvod

Existence člověka je závislá na energii. V přírodě existuje mnoho druhů energie, z nichž lze získat pro člověka tu nejdůležitější - elektrickou energii. Elektrická energie, jakožto energie s možností snadného přenosu a přeměny na jiné formy, je nejušlechtilějším druhem energie. Lze ji vyrobit v různých typech elektráren (jaderné, uhelné, vodní, větrné, solární, atd.). Mezi základní vlastnosti elektrické energie patří jednoduchost, stejnorodost a neskladnost.

Elektrická energie vyrobená v elektrárnách za předepsaných parametrů se prostřednictvím elektrizační soustavy, která se skládá z přenosové a distribuční soustavy, dodává až ke koncovému zákazníkovi. Během této cesty působí na tuto energii mnoho faktorů, které mohou ovlivnit konečnou kvalitu elektrické energie.

Mezi tyto faktory můžeme zařadit:

- Atmosférické vlivy
- Vlivy způsobené užíváním některých elektrických spotřebičů
- Působení ochran
- Vlivy způsobené provozními manipulacemi v síti
- Časté spínání velkých spotřebičů

Pro efektivní využití této elektrické energie je potřeba, aby splňovala určité požadavky a kritéria. Touto problematikou se zabývá především norma ČSN EN 50160 (Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí), která definuje rozsahy ovlivňujících parametrů. Dále tyto kritéria upravují také dokumenty Kodex přenosové soustavy a Pravidla provozování distribuční soustavy.

Parametry ovlivňující kvalitu elektrické energie:

- Kmitočet sítě
- Velikost napájecího napětí
- Odchyšky napájecího napětí
- Rychlé změny napájecího napětí – flickr
- Krátkodobé poklesy napájecího napětí
- Krátkodobá a dlouhodobá přerušení napájecího napětí
- Dočasná a přechodná napětí
- Nesymetrie napájecího napětí
- Harmonická napětí
- Meziharmonická napětí
- Úrovně napětí signálů

Tyto parametry jsou pro kvalitu elektrické energie zásadní, a proto se právě jimi budu zabývat v diplomové práci, kde tyto veličiny budou teoreticky popsány v následující kapitole. V další kapitole budou uvedeny přístroje užívané pro měření kvality elektrické energie a v závěrečné části budou vyhodnocena data naměřená pomocí analyzátoru.

## 2 Úvod do problematiky kvality elektrické energie v ČR, EU

Tato část diplomové práce se zaměřuje na veličiny, jež ovlivňují kvalitu elektrické energie. V následujících bodech této části diplomové práce jsou seřazeny kvalitativní požadavky na napájecí napětí a tolerance jeho parametrů.

### 2.1 Kmitočet sítě

Kmitočet udává počet kmitů vykonaných za dobu 1 sekundy, označujeme jej písmenem  $f$  a jeho jednotkou je Hertz (zkratka Hz což je 1 kmit za sekundu).

S frekvencí souvisí doba periody  $T$ , která je nepřímo úměrná frekvenci  $f$ .

$$T = \frac{1}{f}$$

Norma [1] stanovuje jmenovitý kmitočet napájecího napětí 50 Hz. Kmitočet napájecí sítě závisí na působení mezi generátory a zatížením. Rozsah odchylek se snižuje se zvyšujícím se poměrem mezi výkonem generátorů a zátěží. Dle normy se systémy dělí do dvou skupin:

- systémy se synchronním připojením k propojenému systému
- systémy bez synchronního připojení k propojenému systému tedy ostrovní napájecí systémy

*Tab.1: Povolené odchylky pro systémy s a bez synchronního připojení k propojenému systému dle [1] pro sítě NN, VN a VVN*

Systémy se synchronním připojením k propojenému systému		
50 Hz $\pm$ 1%	to je 49,5 Hz – 50,5 Hz	během 99,5% roku
50Hz +4% / -6%	to je 47 Hz – 52 Hz	po 100% času
Systémy bez synchronního připojení k propojenému systému (ostrovní napájecí systémy)		
50 Hz $\pm$ 2%	to je 49 Hz – 51 Hz	během 95% týdne
50 Hz $\pm$ 15%	to je 42,5 Hz – 57,5 Hz	po 100% času

Pro udržení konstantní hodnoty frekvence je potřeba dostatečně velký výkon výroby, který je přizpůsobován okamžitému celkovému odběru. V důsledku nespojitě změny výroby a odběru existuje riziko nepřizpůsobení, jehož následkem je pokles nebo nárůst frekvence v síti. Toto riziko je ovšem možné omezit a to propojením mnoha sítí do jedné velké. Výkon takovéto sítě je pak v porovnání s možnými změnami v síti dostatečně velký.

Dle [8] bylo průběžné naměřené maximum frekvence hodnota ze dne 17. ledna 2012 50,136 Hz v 6 hodin a minimum bylo naměřeno v 12 hodin 7. února 49,852 Hz.

## 2.2 Velikost napájecího napětí

Norma [1] definuje napájecí napětí jako efektivní hodnotu napětí v dané době v předávacím místě, jež je měřena po dobu zadaného intervalu. Jako dohodnuté napájecí napětí je obvykle považováno jmenovité napětí sítě  $U_n$ . Pokud existuje dohoda mezi provozovatelem a uživatelem sítě, je možné do předávacího místa přivádět napětí jiné hodnoty. Předávací místo je definováno normou [1] jako bod ve veřejné distribuční síti určený jako takový a smluvně určený, ve kterém je elektřina měněna mezi smluvními partnery.

$$U_{TRMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$

## 2.3 Odchyłky napájecího napětí

Odchyłky napětí jsou způsobeny nezávislým zapínáním a vypínáním mnoha velkých zátěží jako jsou například pohony s motory nebo obloukové pece. Tyto odchyłky je možné charakterizovat denními, týdenními a sezónními cykly. Norma [1] udává, že odchyłka napájecího napětí nemá přesáhnout rozsah  $\pm 10\%$  jmenovitého napětí  $U_n$ . Pravidla provozování distribuční soustavy dále omezují velikost odchylek napájecího napětí pro hladinu 400 kV na  $\pm 5\%$ . Tato podmínka se nevztahuje na období s přerušeným napětím. Pro síť, které nejsou připojeny k přenosovým sítím nebo u speciálních dálkově ovládaných uživatelů nemají odchyłky napájecího napětí přesáhnout rozmezí  $+10\%/-15\%$   $U_n$ . Uživatelé musí být o těchto podmínkách informováni. Tyto omezení platí jak pro síť s nízkým napětím, tak síť s vysokým napětím. Pro síť s velmi vysokým napětím tyto limity stanoveny nejsou, a to z důvodu, že počet zákazníků je pro toto napětí omezen a obvykle mají individuální smlouvy.

## 2.4 Rychlé změny napětí

Rychlé změny napětí neboli rychlé snížení efektivní hodnoty napětí mezi dvěma nebo více po sobě následujícími úrovněmi napětí, které trvají určitou, ne však stanovenou dobu. Změny kmitočtu a amplitudy napětí jsou způsobeny obvykle změnami zátěže, spínáním nebo poruchami v síti.

Dle dokumentu Pravidla provozování distribuční soustavy [7] nesmí za normálních provozních podmínek efektivní hodnota rychlé změny napětí překročit v závislosti na četnosti výskytu hodnoty uvedené v následující tabulce.

Tab.2: Povolený výskyt rychlých změn napětí

Četnost změn n	$\Delta U/U_N$	
	vn	vvn
$n \leq 4$ za den	5 - 6	3 - 5
$n \leq 2$ za hodinu a $4 >$ za den	4	3
$2 < n \leq 10$ za hodinu	3	2,5

## 2.4.1 Velikost rychlých změn napětí

V sítích nn za normálních provozních podmínek tyto změny obecně nepřekračují 5 %  $U_n$ . Za určitých okolností se však mohou vyskytnout několikrát denně a to až do velikosti 10 %  $U_n$ . Pro vn napětí nepřesáhnou tyto změny napětí 4% jmenovitého napětí a za určitých podmínek hodnotu 6 %  $U_n$ .

## 2.4.2 Míra vjemu flikru

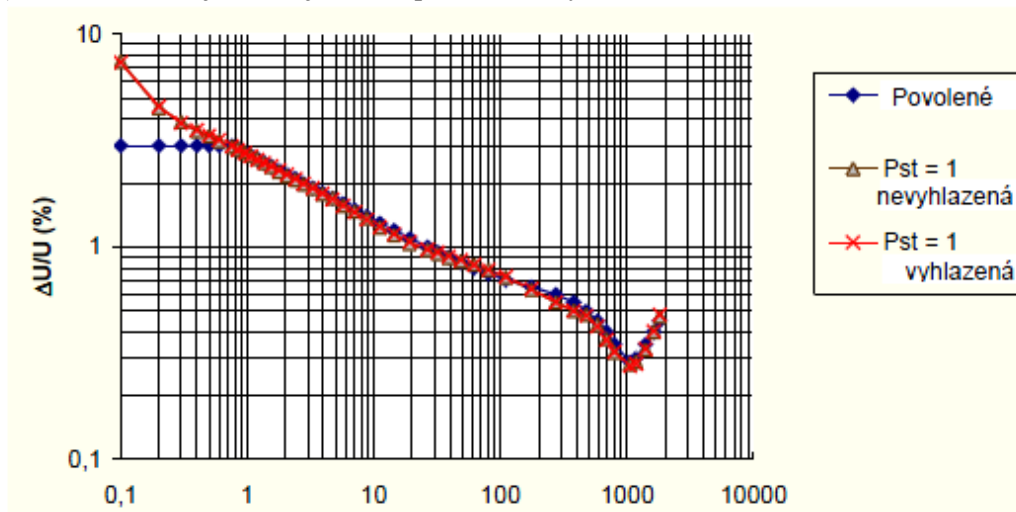
Flikr je dle normy [1] definován jako vjem nestálosti zrakového vnímání vyvolaný světelným podnětem. Jas nebo spektrální rozložení tohoto podnětu kolísá v čase. Flikr je následkem kolísání napětí, které může být způsobeno spínáním velké zátěže, rozběhy velkých motorů, proměnlivou zátěží nebo elektrickými obloukovými pecemi. Nad určitou hodnotou se flikr stává nepříjemný. Tato nepříjemnost stoupá velmi rychle s amplitudou kolísání. Za určitého kmitočtu mohou být nepříjemné i již velmi malé amplitudy kolísání.

Intenzita flikru je definována následujícími veličinami:

- krátkodobou mírou vjemu flikru  $P_{st}$ , která je měřena po dobu 10 minut
- dlouhodobou mírou vjemu flikru  $P_{lt}$ , kterou vypočteme z posloupnosti dvanácti hodnot  $P_{st}$  po

dobu dvouhodinového intervalu použitím vzorce:  $P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{st}^3}{12}}$

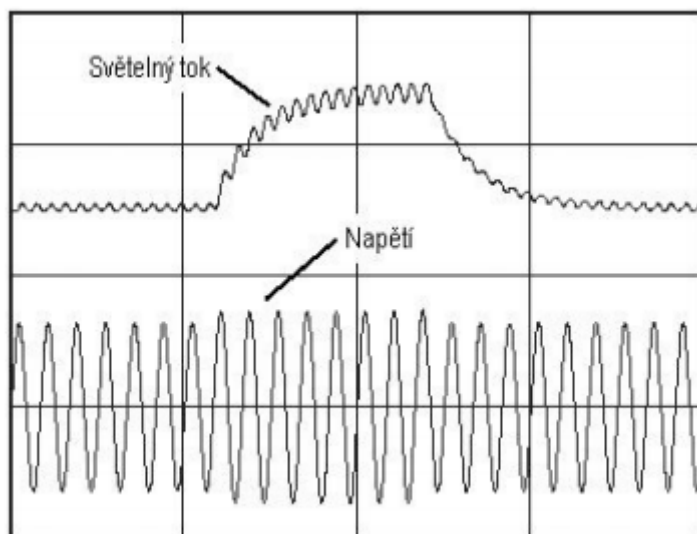
Tyto hodnoty jsou platné za předpokladu, že přenosový koeficient mezi vn soustavou (vvn soustavou případně) a nn soustavou je roven jedné. V praxi může být ale tento koeficient menší než 1.



Obr. 1: Charakteristika vnímání flikru pro napěťové změny

Limit je stanoven pouze pro dlouhodobou míru flikru, která se pro popis napájecího napětí považuje za důležitější. Norma udává, že po dobu 95% času musí být dlouhodobá míra vjemu flikru  $P_{lt} \leq 1$ . Reakce na flikr je subjektivní a může se měnit na délce výskytu flikru a na příčině. V různých případech způsobuje  $P_{lt} = 1$  potíže, zatímco jindy vyšší hladina  $P_{lt}$  problémy nevyvolává.





Obr. 2: Změna světelného toku způsobená dočasnou změnou velikosti napětí

## 2.5 Napěťové jevy

### 2.5.1 Poklesy napájecího napětí

Jako pokles napájecího napětí definujeme takové náhlé nepředvídatelné snížení hodnoty napětí, při kterém se hodnota napětí pohybuje pod 90% dohodnutého napětí a následně se vrací zpět nad 90% dohodnutého napájecího napětí. Tento jev je obvykle spojován s výskytem a následným ukončením zkratového proudu nebo jiným zvýšením extrémního proudu v soustavě případně přípojných instalacích. Pro případy normy [1] je doba trvání poklesu napětí mezi 10 ms a 1 minutou včetně. Pokles napájecího napětí je dvojrozměrný jev, neboť úroveň rušení se zvyšuje v závislosti na hloubce poklesu a na době trvání. Hloubka tohoto poklesu napětí je charakterizována jako rozdíl dohodnutého napájecího napětí a minimální efektivní hodnotou změřenou za průběh daného poklesu. Za normálních provozních podmínek se očekávaný počet krátkodobých poklesů napětí během jednoho roku pohybuje od několika desítek až do jednoho tisíce. Četnost výskytu za rok je ovlivněna typem napájecí sítě a místem sledování. Přibližně 70% těchto krátkodobých poklesů napětí má dobu trvání kratší jak 1 sekunda s hloubkou poklesu méně než 60%, tedy pokles nepřekročí hodnotu 40% stanoveného  $U_n$ . Občas se ovšem vyskytují hlubší poklesy napájecího napětí s větší délkou trvání. V určitých oblastech se můžou vyskytovat poklesy, kdy napětí poklesne na 10 až 15 % jmenovité hodnoty napětí. Toto je způsobeno spínáním velkých zátěží u odběratelů.

Tab.3: Četnost výskytů poklesů a přerušení napětí v distribuční síti dle [5]

Hloubka poklesu	Doba trvání			
	10 ms – 100 ms	100 ms – 500 ms	500 ms – 1 s	1 s – 3 s
10 až 30%	61	66	12	6
30 až 60%	8	36	4	1
60 až 100%	2	17	3	2
100%	0	12	24	5
Počet poruch za rok				

## 2.5.2 Přerušení napětí

Je stav, při kterém klesne napětí v předávacím místě pod 5% hodnoty dohodnutého napětí a pod 2% pro napětí hystereze. Povahově jsou přerušení napětí nepředvídatelná a různá v čase a místě. Pro celou dobu není možné určit statistické výsledky měření množství přerušení napájecího napětí reprezentující všechny evropské sítě. Přerušení napájecího napětí mohou být způsobeny spínacími operacemi, při nichž jsou zapínány velké odběry nebo zkratovými poruchami a následnou funkcí ochran (např. opětovného zapínání). Tyto poruchy mohou pocházet z odběratelských sítí, z veřejných rozvodných sítí nebo mohou být způsobeny atmosférickými vlivy.

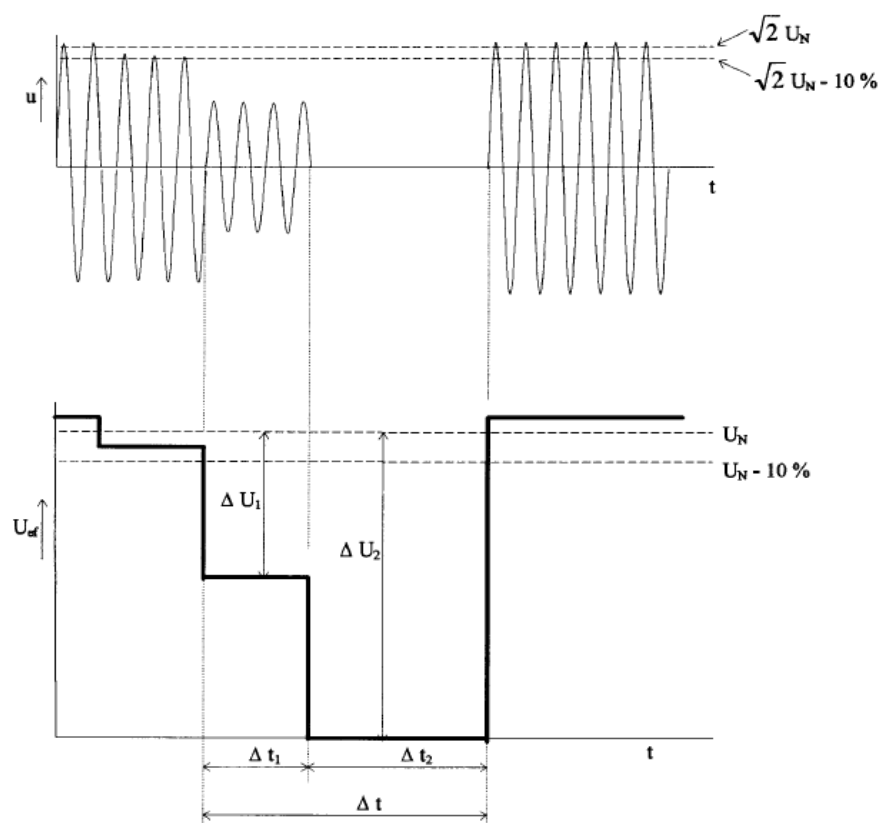
Dle normy [1] mohou být přerušení napájecího napětí dělena do dvou skupin:

- plánovaná – předem dohodnutá, při kterých jsou uživatelé elektrické energie předem informováni
- náhodná – mohou být způsobena trvalými nebo přechodnými poruchami většinou způsobenými poruchami zařízení, rušením nebo vnějšími vlivy.

Tato přerušení se dále dělí na:

- krátkodobá přerušení napájecího napětí s délkou menší než 3 minuty
- dlouhodobá přerušení napájecího napětí s délkou větší než 3 minuty

V některých zemích je možné se setkat s velmi krátkými přerušeními nebo také přechodnými přerušeními. Tyto termíny charakterizují přerušení s dobou trvání od 1 sekundy do 5 sekund.



Obr. 3: Graf poklesu napětí a krátkodobé přerušení napětí

Tab.4:Plánovaná přerušení za rok 2009 dle [4]

Společnost	Úroveň napětí	Počet událostí	Výjimka ERÚ	Nesplněné	Nesplněné [%]
E.ON Distribuce	NN	4520	0	13	0,29
	VN	5989	0	34	0,57
	VVN	8	0	0	0
	Celkem	10517	0	47	
PREdistribuce	NN	1415	0	9	0,64
	VN	28	0	0	0
	Celkem	1443	0	9	
ČEZ Distribuce	NN	7345	0	14	0,19
	VN	12952	0	69	0,53
	VVN	4	0	0	0
	Celkem	20301	0	83	

### 2.5.2.1 Krátkodobá přerušení napájecího napětí

Za normálních provozních podmínek je roční výskyt krátkodobých přerušení napájecího napětí v rozsahu od několika desítek až do několika stovek. Doba trvání většiny krátkodobých přerušení může mít délku menší než několik sekund. Norma [1] dodavateli elektrické energie nařizuje maximální přípustné tolerance pro průměrné efektivní hodnoty napájecího napětí, avšak nestanovuje žádné meze pro okamžité hodnoty napětí pro případ krátkodobého přerušení napětí.

### 2.5.2.2 Dlouhodobá přerušení napájecího napětí

Za dlouhodobá přerušení napájecího napětí se považují ta napětí, kde trvá přerušení déle než 3 minuty. To je způsobeno mimo jiné rozdíly v systému uspořádání, vnějšími vlivy, klimatickými podmínkami apod. Pro četnost a doby trvání dlouhodobých přerušení není možné udat typické údaje. Je to z důvodů nepředvídatelných důsledků povětrnostních vlivů, velkými rozdíly v uspořádání a struktuře elektrických sítí.

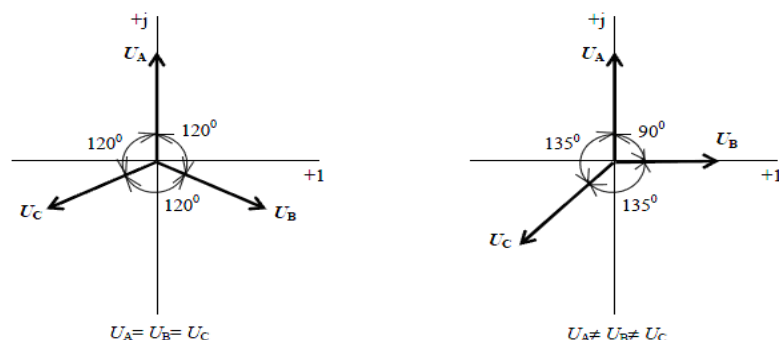
## 2.6 Nesymetrie napájecího napětí

Je stav v trojfázové síti, kdy efektivní hodnoty sdružených napětí nebo fázové úhly mezi jednotlivými sdruženými napětími nejsou shodné. Tento jev je obvykle vyvolán nesymetrickou zátěží. Nesymetrie je závažný problém, který ovlivňuje kvalitu elektrické energie zejména v distribučních systémech s nízkým napětím.

Norma [1] definuje, že během libovolného týdenního měření musí být 95% desetiminutových středních efektivních hodnot zpětné složky napájecího napětí v rozsahu od 0 do 2%. Dle poznámky ovšem mohou být v některých oblastech, kde jsou odběratelé připojeni jednofázově či dvojfázově, nesymetrie až 3%. Tyto hodnoty jsou platné pro nesymetrii v soustavách nn a vn. Pro soustavy vvn

jsou tyto hodnoty pouze informativní a limity je možné stanovit na základě dat získaných z programů měření. Míra nesouměrnosti je obvykle vyjádřena jako poměr zpětné a nulové složky vůči sousledné složce. Prakticky se nesymetrie napětí  $u_u$  definuje jako poměr mezi zpětnou složkou  $V_i$  a souslednou složkou  $V_d$ .

$$u_u = \frac{|V_i|}{|V_d|} * 100 \quad [\%]$$



Obr. 4: příklad symetrické a nesymetrické napájecí soustavy

## 2.7 Harmonické napětí

Jedná se o sinusové napětí o frekvenci, která je celistvým násobkem základního kmitočtu napájecího napětí. V 50 Hz sítích se nejčastěji vyskytují harmonické o kmitočtu 150, 250 a 350 Hz, vyšší kmitočty v nižší míře. Tyto frekvence jsou označovány jako 3., 5. a 7. harmonická. Vyšší harmonické složky mají negativní vliv na činnost některých ochranných a měřících přístrojů, elektrického vedení, výpočetní techniku a další. Harmonické složky jsou generovány nelineárními spotřebiči jako spínané napájecí zdroje, elektronické předřadníky kompaktních svítidel, elektronickými regulačními pohony, velkými nepřerušitelnými zdroji energie (UPS) atd.

Harmonická napětí lze hodnotit jednotlivě nebo souhrnně. Pro jednotlivé hodnocení bereme v potaz relativní amplitudu  $u_h$ , která je harmonickým napětím vztaženým k napětí základní harmonické  $u_1$  kde  $h$  reprezentuje řád harmonické. Při souhrnném hodnocení bereme v potaz ukazatel činitele celkového harmonického zkreslení - total harmonic distortion neboli THD. Tento činitel, který zahrnuje všechny harmonické složky až do 40. řádu (Do tohoto řádu je dohodnuté omezení.) musí být menší nebo roven 8%. Vypočteme jej z následujícího vztahu:

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (u_h)^2}$$

Za normálních provozních podmínek se musí dle [1] 95% desetiminutových středních efektivních hodnot napětí jakékoliv harmonické složky menší nebo rovny hodnotám uvedených v tabulce 5.

Tab.5 : Úrovně jednotlivých harmonických napětí v předávacím místě v procentech  $u_1$ , pro řády harmonických až do 25 pro soustavy NN a VN

Liché harmonické				Sudé harmonické	
Ne násobky 3		Násobky 3			
Řád harmonické h	Harmonické napětí U <sub>h</sub>	Řád harmonické h	Harmonické napětí U <sub>h</sub>	Řád harmonické h	Harmonické napětí U <sub>h</sub>
5	6,0%	3	5,0%	2	2,0%
7	5,0%	9	1,5%	4	1,0%
11	3,5%	15	0,5%	6...24	0,5%
13	3,0%	21	0,5%		
17	2,0%				
19	1,5%				
23	1,5%				
25	1,5%				

Pro soustavy vvn platí tabulka 6. Omezení pro každé harmonické napětí se teprve zkoumají a jsou předmětem dohody. V případě stížností musí být hodnoty pro harmonické v sítích vvn zvolena na základě omezení v sítích vn, vhodně upravené podle množství (D) dle následujícího vzorce:

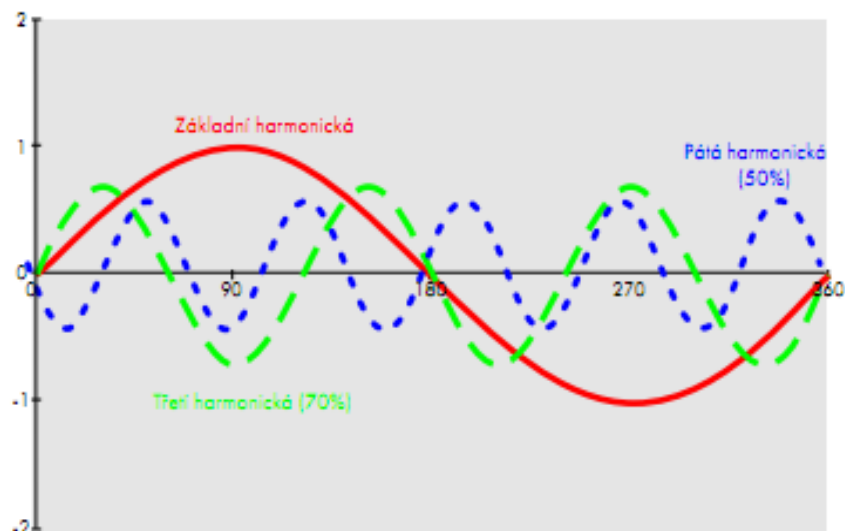
$$\text{vvn omezení} = \text{vn omezení} - D$$

kde D musí být odsouhlaseno, je-li nutné mezi provozovatelem sítě vn a uživatelem připojené sítě podle udržovaných hladin harmonických připojené sítě nižších než příslušná omezení. D může být voleno různě v závislosti na použití (přenos harmonických mezi veřejnými sítěmi vvn, z veřejných vvn sítí do veřejných VN sítí nebo z veřejných sítí vvn do sítí uživatele)

Tab.6 : Úrovně jednotlivých harmonických napětí v předávacím místě v procentech  $u_1$ , pro řády harmonických až do 25 pro soustavy VVN

Liché harmonické				Sudé harmonické	
Ne násobky 3		Násobky 3			
Řád harmonické h	Harmonické napětí $u_h$	Řád harmonické h	Harmonické napětí $u_h$	Řád harmonické h	Harmonické napětí $u_h$
5	5,0%	3	3%	2	1,9%
7	4,0%	9	1,3%	4	1,0%
11	3,0%	15	0,5%	6...24	0,5%
13	2,5%	21	0,5%		
17	zkoumá se				
19	zkoumá se				
23	zkoumá se				
25	zkoumá se				

Tyto hodnoty jsou dále omezeny Kodexem přenosové soustavy [2], kde pro sítě s napětím 110 kV platí pro 17. harmonickou dovolené napětí 2% a pro 19., 23. a 25. harmonickou platí limit 1,5%  $u_h$ .



Obr. 5: Znáznornění 1., 3. a 5.. harmonické složky

Pro přenosovou soustavu České Republiky platí dle Kodexu konkrétně části V. pro hodnoty THD následující tabulka.

Tab.7: Velikost maximálních amplitud harmonické  $u_h$  pro sítě VVN

Síť	Max. amplituda harmonické $u_h$ [% $U_n$ ]
220 kV	1,5
400 kV	1

## 2.8 Meziharmonická napětí

Jsou sinusová napětí o meziharmonickém kmitočtu. Meziharmonický kmitočet je jakýkoliv kmitočet, který není násobkem základního kmitočtu. Řád meziharmonické je stejně jako u harmonických dán poměrem meziharmonického kmitočtu k základnímu kmitočtu. Tyto meziharmonická napětí mohou za v určitých případech způsobovat vznik flikru nebo rušení v systémech hromadného dálkového ovládání. Existují dva mechanismy pro generování meziharmonických složek. Prvním je generování složek v postranních pásmech kmitočtu napájecího napětí a jeho harmonických v důsledku změn jejich hodnot a úhlu. Tato varianta je způsobena rychlými změnami proudu v zařízeních. Druhou možností vzniku meziharmonických je asynchronní spínání polovodičových prvků ve statických měničích.

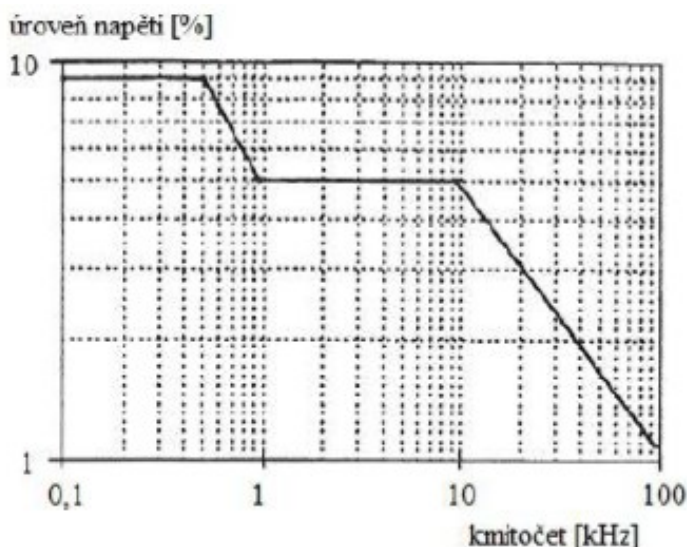
Dle [2] musí být pro přenosovou soustavu za normálních provozních podmínek během každého týdne 99% průměrných efektivních hodnot meziharmonických napětí  $U_m$  naměřených v intervalu 3 sek. menší než 0,3%  $U$  jmenovitého.

## 2.9 Napětí síťových signálů v napájecím napětí

Veřejné sítě mohou být jejich provozovateli používány k tomu, aby přenášely informace. Tyto informace jsou pomocí signálu superponovaného na napájecí napětí přenášeny po distribuční síti do objektů uživatelů domovní sítě. Norma [1] udává, že střední hodnota napětí signálu, měřeného po dobu 3 sekund, musí v 99% dne menší nebo rovna hodnotám určeným grafem. Tyto limity platí pro sítě nn a vn. V sítích vvn se z důvodu nízkého rezonančního kmitočtu neuvádějí žádná napětí signálů.

Ve veřejných sítích se tyto signály rozlišují do 3 skupin:

- signály hromadného dálkového ovládání (kmitočty od 110 Hz do 3 kHz)
- nosné signály po vedeních (kmitočty od 3 kHz do 148,5 kHz)
- signály síťových značek, tedy superponované krátkodobé změny na vybraných bodech průběhu napětí



Obr. 6: Úrovně napětí na kmitočtech signálů v %  $U_n$  v sítích.

## 2.10 Přepětí

Přepětí je napětí, ať už mezi fází a zemí nebo mezi fázemi, které svou velikostí překračuje amplitudu jmenovitého napětí. Přepětí se liší jak časovým průběhem, velikostí, množstvím výskytu tak příčinou vzniku. Četnost výskytu za rok je ovlivněna typem napájecí sítě a místem sledování.

Podle původu vzniku členíme přepětí na:

- atmosférická (přímý úder blesku do vedení, přepětí indukovaná bleskem ve vedení, přepětí způsobená bleskem v budovách)
- provozní (vypínání zkratů, vypínání malých induktivních proudů, spínání kapacitních proudů, vypínání nezátíženého vedení, spínací operace ve stejnosměrných obvodech, zkraty a zemní spojení)

Podle norem se dle časového průběhu přepětí dělí na:

- trvalá přepětí - o síťové frekvenci a konstantní efektivní hodnotě
- dočasná přepětí - o síťové frekvenci a dobou trvání v rozsahu  $0,03 < t < 3600$  sekund

- přechodná přepětí – má tlumený nebo oscilační průběh a trvá milisekundy
- kombinovaná přepětí - současný výskyt dvou druhů přepětí

Proti přepětí je nutné zařízení chránit vhodnou ochranou jako jsou bleskojistky, zemní lana, ochranné jiskřiště anebo svodiče napětí.

## 2.11 Dočasná přepětí síťového kmitočtu mezi vodiči pod napětím a zemí

Dočasná přepětí o síťovém kmitočtu se obvykle objevují při poruchách v distribuční síti, u řízení alternátorů, překompenzování v síti, přepínačů odboček transformátoru, zkratech nebo při spínacích operacích, ale mohou být způsobeny i atmosférickým přepětím. Dočasná přepětí mají náhodný charakter a jejich výskyt je nepředvídatelný.

Za určitých okolností se může v sítích nízkého napětí vyskytnout porucha na straně vysokonapětového transformátoru. Toto může mít za následek přepětí v této síti o délce trvání průtoku poruchového proudu. Tato přepětí obecně nepřekračují svou efektivní hodnotou velikost 1,5 kV a mizí, jakmile je porucha odstraněna.

V sítích vysokého napětí se hodnoty přepětí odvíjejí od toho, jak je daná soustava uzemněna. V soustavách s účinným uzemněním hodnota přepětí všeobecně nepřekročí 1,7 násobek jmenovitého napětí. V sítích uzemněných přes tlumivku či v izolovaných sítích hodnota přepětí všeobecně nepřekročí dvojnásobek  $U_n$ .

## 2.12 Přechodná přepětí mezi vodiči pod napětím a zemí

Tato oscilační nebo neoscilační krátkodobá přepětí, které jsou obvykle vysoce tlumené, mají náběžné doby v rozsahu méně než jedna mikrosekunda až několik mikrosekund. Amplituda, doba trvání a energetický obsah jsou ovlivněny vznikem těchto přepětí. Přepětí s atmosférickým původem mají všeobecně vyšší amplitudu oproti přepětím vznikajícím spínáním, které mají delší trvání a obsahují větší energii.

Podle [1] jsou tato přepětí obvykle vyvolána spínáním, činností pojistek nebo činností blesku. Poruchy v distribuční síti mají vliv na zvýšení hodnoty napětí o síťovém kmitočtu mezi fázemi a zemí. Toto zvýšení napětí zmizí, jakmile je odstraněna porucha, která zvýšení zavinila.

Přechodná přepětí se dělí na:

- přepětí s dlouhým čelem - doba čela od 20 mikrosekund do 5000 mikrosekund a doba půltýlu do 20 milisekund
- přepětí s krátkým čelem - s dobou čela od 1 mikrosekundy do 20 mikrosekund a dobou půltýlu do 300 mikrosekund
- přepětí s velmi krátkým čelem - doba trvání čela je menší než 0,1 mikrosekundy, doba trvání půltýlu je menší než 3 milisekundy



### 3. Odlišnosti v oblasti PQ v porovnání s požadavky na PQ v České Republice

Tato část diplomové práce je věnována srovnání zadaných limitů jednotlivých parametrů kvality elektrické energie platících pro Českou republiku a pro vybrané státy nejen v Evropě ale v celém světě. V Evropě existuje 9 států, které zavedly požadavky, které se liší od normy EN 50 160. Jsou to Kypr, Francie, Maďarsko, Itálie, Lotyšsko, Nizozemí, Norsko, Portugalsko, Švédsko a Česká Republika, jejíž rozdíly byly probrány v minulé části této práce. Tak jako jsou v České Republice závazné limity nejen z normy ČSN EN 50 160 ale i z Kodexu přenosové soustavy a Pravidel provozování distribuční soustavy, tak jsou pro tyto země závazné různé dokumenty jako například pro Norsko. Zde platí také limity zadané dokumentem "Regulace týkající se kvality elektrické energie v Norském energetickém systému".

#### 3.1 Kypr

Kyperská norma CYS EN 50160, jak udává dokument [11], se oproti normě EN 50160 liší v několika částech. V oblasti frekvence nejsou určeny časová rozmezí, ale jsou stanoveny dva provoz. První je normální provoz, kdy se frekvence musí stejně jako v EN 50160 pohybovat v rozmezí 49,5 až 50,5 Hertzů a druhý, nouzový stav má určeny limity 47 a 52 Hz. Flikr je normou CYS EN 50160 a normou IEC 61000-3-7 omezen a musí být menší nebo roven 0,35 jak pro krátkodobý flikr tak i pro dlouhodobý. Stejně normy omezují i Harmonická napětí, kdy činitel THD se musí pohybovat maximálně na hodnotě 2%. Pro rychlé změny napětí platí maximum 3%.

#### 3.2 Maďarsko

V Maďarsku jsou dle [11] dovolené desetiminutové střední hodnoty odchylek napájecího napětí v rozmezí  $\pm 7,5\%$  po 95 % času v libovolném týdenním období a v rozmezí  $\pm 100\%$  času ve stejném časovém úseku. Dále každá jednodominutová střední hodnota tohoto napětí bude v rozmezí  $+15\% / -20\%$  po 100 % času tohoto týdne.

### 3.3 Itálie

Tab. 8: Srovnání limitů Itálie a České republiky dle [11]

Parametr napájecího napětí	Statistické vyhodnocení	Limit	Vs. ČR
Frekvence napájecího napětí	100% času za rok	50 Hz $\pm$ 0,1 Hz	Přísnější
Odchylky napájecího napětí	95% času	400 kV $\pm$ 15 kV 230 kV $\pm$ 8 kV	Přísnější
Rychlé změny napětí	Neuvedeno	Neuvedeno	Volnější
Flikr	95 % času v 1 týdnu	$P_{st} \leq$	Volnější
Poklesy napětí	1 rok	Uvedeno	Přísnější
Krátkodobá přerušení	1 rok	Neuvedeno	Stejně
Dlouhodobá přerušení	1 rok	Neuvedeno	Stejně
Dočasná přepětí	1 rok	Neuvedeno	Stejně
Nesymetrie napájecího napětí	95 % času	< 2 %	Stejně
Harmonická napětí	Střední hodnota po 95 % času v 1 týdnu	THD < 6 %	Volnější
Úrovně napětí signálu	99 % času v 1 dni	Obr. 6	Stejně

V místních oblastech tedy Sicílii a Sardinii se frekvence za normálních podmínek (při respektování kritéria N-1) musí pohybovat ve stejných limitech jako je tomu v České republice tedy mezi 49,5 až 50,5 Herti. Pro stav nouze nebo obnovení provozního stavu je definován rozsah frekvence od 47,5 do 51,5 Hz. Pro propojené oblasti Itálie platí pro různé napěťové hladiny různé meze. Pro vysoké napětí za běžného provozního stavu se musí pohybovat naměřené hodnoty frekvence mezi 49,9 a 50,1 Herti. Při stavu nouze nebo obnovování provozního stavu jsou tyto nároky sníženy a frekvence se může pohybovat od 47,5 do 51,5 Hertzů. V ostrovním provozu pak jsou zadané limity 49 až 51 Hz po 95% času a 47,5 až 51,5 Hz pro 100% času.

Pro odchylky napájecího napětí se v oblasti velmi vysokého napětí musí pohybovat v 95% času naměřená hodnota v rozmezí od 375 kilovoltů do 415 kilovoltů. Pro 100 % času se musí napětí pohybovat v rozmezí od 360 do 420 kV za normálních nebo výjimečného stavu. Pro 230 kV síť platí po dobu 95% času maximální dovolená odchylka  $\pm$  8 kV a dále se musí toto napětí pohybovat v rozmezí -30/+12 kV po 100 % času. Pro 230 kV dále platí, že se musí po 100 % času pohybovat v rozmezí 187 až 245 kV pokud se jedná o stav nouze nebo obnovu provozního stavu. V rozmezí vysokého napětí se napěťová hladina 150 kV musí nacházet v rozmezí 143 až 158 kV po 95 % změřeného času. Dále platí, že se po celou dobu měření musí nacházet v rozmezí 140 až 165 kV za normálního provozního stavu a 128 až 170 kV pokud se jedná o stav nouze nebo obnovu provozního stavu. Síť o napětí 132 kV má po dobu 95 % změřeného času hraniční napětí 125 až 139 kV a po 100 % času 120 až 145 kV za normálního provozního stavu. V případě stavu nouze nebo obnovování provozního stavu je pak dovolené rozmezí napětí 112 až 150 kV. Pro dočasný provoz v ostrovním režimu normálně propojených soustav platí horní hranice 110 %  $U_n$  a dolní mez 85 %  $U_n$ .

Itálie, tak jako ostatní země, definuje v oblasti flikru krátkodobou míru vjemu flikru  $P_{st}$  a dlouhodobou míru vjemu flikru  $P_{lt}$ . Pro napětí nad 132 kV je limitována oproti ostatním zemím pouze míra  $P_{st}$ , kde pro napěťovou hladinu 380 kV je připouštěna maximální hodnota 1. Pro hladinu 220 kV je dovolená hodnota 4 a na hladině 132 až 150 kV se připouští krátkodobá míra vjemu flikru 6.

Pro poklesy napájecího napětí existují v Itálii 4 indikátory. POLI-ALL, což jsou vícefázové poklesy pod 90%, MONO-ALL neboli jednofázové poklesy pod 90, POLI-SEVERE, tedy vícefázové závažné poklesy kdy napětí je menší než 70% a trvání poklesu je větší než 0,5 sekundy. Posledním indikátorem je MONO-SEVERE, tedy jednofázové závažné poklesy s hodnotou napětí pod 70% dohodnutého napětí a délkou trvání delší než 0,5 sekundy. Pro 380 kV hladinu napětí je dovoleno 50 POLI-ALL, 200 MONO-ALL, 3 POLI-SEVERE a 5 MONO-SEVERE poklesů napájecího napětí. V síti 220 kV je to 100 POLI-ALL, 200 MONO-ALL, 6 POLI-SEVERE a 10 MONO-SEVERE poklesů napájecího napětí a v hladině 132 až 150 kV je dovoleno až 250 POLI-ALL, 400 MONO-ALL, 9 POLI-SEVERE a 15 MONO-SEVERE poklesů napájecího napětí.

Nesymetrie napájecího napětí v sítích do 150 kV je obecně nižší než 1%. Referenční úroveň pro VVN a VN je 2%. Stejně jako v případě EN 50160 se jedná o týdenní hodnotu.

Pro harmonická napětí je určena hodnota pro činitel THD v sítích vn a vvn 6%. Za normálních podmínek je činitel THD menší než 3%. Pro výpočet celkového harmonického zkreslení se oproti normě EN 50160 nepočítá s 2. až 40. harmonickými napětími, ale jen s 2. až 25.

### 3.4 Lotyšsko

Tato země se liší od ostatních zemí Evropy v tom ohledu, že stále ještě nepřešla na nejnovější edici 3 normy EN 50160 a zůstává v ohledu frekvence, odchylek napájecího napětí, flikru, poklesů napětí, dočasných přepětí, nesymetrie napájecího napětí a harmonických napětí v limitách udaných normou EN 50160 edice 2, která byla vydána v roce 2007.

### 3.5 Nizozemí

Tab. 9 : Srovnání limitů Nizozemí a České Republiky

Parametr napájecího napětí	Statistické vyhodnocení	Limit	Vs. ČR
Frekvence napájecího napětí	99,9 % času za rok 100% času za rok	50 Hz $\pm$ 1 % 50 Hz +4%/-6%	Přísnější
Odchyly napájecího napětí	95% času	$U_c \pm 10 \%$	Volnější
Rychlé změny napětí	Neuvedeno	Neuvedeno	Volnější
Flikr	95 % času v 1 týdnu 95 % času v 1 týdnu	$P_{lt} \leq 1$ $P_{lt} \leq 5$	Volnější
Poklesy napětí	Neuvedeno	Neuvedeno	Stejně
Krátkodobá přerušení	1 rok	Neuvedeno	Stejně
Dlouhodobá přerušení	1 rok	Neuvedeno	Stejně
Dočasná přepětí	1 rok	Neuvedeno	Stejně
Nesymetrie napájecího napětí	100% času	$< 3 \%$	Volnější
Harmonická napětí	Střední hodnota po 95 % času v 1 týdnu	THD $< 8 \%$	Volnější
Úroveň napětí signálu	99 % času v 1 dni	Obr. 7	Stejně

Pro odchylky napájecího napětí v Nizozemsku platí dle dokumentu 5th CEER Benchmarking Report on the Quality of Electricity Supply 2011 [11], že 95 % naměřených desetiminutových středních hodnot v libovolném týdenním období musí být pro napětí menší než 35 kV maximálně v rozmezí  $\pm 10\%$ . Pro 100 % těchto hodnot platí limity  $+ 10 / - 15 \%$  jmenovitého napětí. Pro napětí od

35 kV včetně platí, že napětí se musí v 99,9 % naměřených desetiminutových středních hodnot pohybovat v jednotýdenním zkouškovém období v rozmezí  $\pm 10$  %.

V oblasti flikru je udáno, že dlouhodobá míra vjemu flikru  $P_{lt}$  musí být v 95% naměřených desetiminutových středních hodnot během jednoho zkouškového týdne menší nebo rovna 1. Pro 100% těchto hodnot platí maximum  $P_{lt}$  rovné 5.

Pro soustavy s napětím menším než 35 kV platí téměř stejné požadavky na nesymetrii. Hodnota zpětné složky se musí nacházet v rozsahu od 0 do 3 % sousledné složky a to po celou dobu měření. Pro napětí 35 kV a výše se hodnota zpětné složky může pohybovat pouze od 0 do 1 % během zkouškového období.

Maximální hodnoty činitele celkového harmonického zkreslení jsou vymezeny pro odlišné napětíové hladiny různě. Pokud je napětí menší jak 35 kV, pak činitel THD, vypočtený z 95% naměřených hodnot, musí být menší nebo roven 8%. Pro činitel THD vypočtený z 99,9 % naměřených průměrných hodnot platí maximální hodnota 12 %. Pro napětí od 35 kV do 150 kV musí být činitel THD, spočtený ze všech harmonických napětí až do 40., menší nebo roven 6%. Při výpočtu je uvažováno s 95% hodnotami změřenými po dobu 1 týdne. Pokud počítáme s 99,9 % z naměřených hodnot, pak musí být činitel THD maximálně 7%. Pro napětíové hladiny od 220 kV výše platí THD menší nebo rovno 5% z 95% naměřených hodnot a 6% hranice při výpočtu z 99,9 % hodnot.

### 3.6 Norsko

Tab. 10: Srovnání limitů Norska a České Republiky

Parametr napájecího napětí	Statistické vyhodnocení	Limit	Vs. ČR
Frekvence napájecího napětí	100% času	50 Hz $\pm 2$ %	Přísnější
Odchylky napájecího napětí	100% času	$U_c \pm 10$ %	Stejně
Rychlé změny napětí	1 změna denně Do 24 změn denně > změn denně	6% 4% 3 %	Volnější
Flikr	95% času v 1 týdnu 100% času v 1 týdnu	$P_{st} \leq 1$ $P_{lt} \leq 0,8$	Volnější Volnější
Poklesy napětí	Neuvedeno	Neuvedeno	Stejně
Krátkodobá přerušení	1 rok	Neuvedeno	Stejně
Dlouhodobá přerušení	1 rok	Neuvedeno	Stejně
Dočasná přepětí	1 rok	Neuvedeno	Stejně
Nesymetrie napájecího napětí	100% času	$< 2$ %	Přísnější
Harmonická napětí	Střední hodnota za 10 minut po 100% času Střední hodnota za 10 minut po 100% času Střední hodnota za 10 minut po 100% času	THD $< 8$ % THD $< 3$ % THD $< 2$ %	Přísnější Volnější Volnější
Úrovně napětí signálu	99 % času v 1 dni	Obr. 7	Stejně

Hodnoty flikru jsou dle [6] rozděleny podle napětíové hladiny, kdy pro napětí od 230 voltů do 35 kilovoltů platí, že hodnoty krátkodobého flikru musí být menší nebo rovny než 1,2 a pro hodnoty napětí nad 35 kV platí, že hodnota  $P_{st}$  musí být menší nebo rovna 1. Pro obě hodnoty platí pravidlo 95% naměřených hodnot za týden měření. Pro dlouhodobou míru vjemu flikru platí stejné napětíové hranice kdy do 35 kV musí být hodnota  $P_{lt}$  maximálně rovna 1 a pro napětí nad 35 kV maximálně 0,8.

Pro harmonická napětí ať už jednotlivé řády nebo činitel THD platí výše zmíněné hranice napětí. V intervalu od 0,23 do 35 kilovoltů je maximální dovolený činitel THD po 100% času menší nebo roven 8%, což platí pro desetiminutové střední efektivní hodnoty napětí a menší nebo roven 5% pro týdenní střední hodnotu. Velikost jednotlivých harmonických je stejná jako v normě EN 50160. Rozdíl je v oblasti času kdy se opět musí dané limity dodržet po 100% času. Pro harmonická napětí od 35 kV do 245 kV musí být činitel THD maximálně 3% a jednotlivá harmonická napětí mají opět stanovené v tabulce. Tyto pravidla platí opět po celou dobu měření. Pro napětí nad 245 kV musí být THD menší nebo rovno 2 %. Jednotlivé harmonické jsou opět limitovány tabulkou. Tyto limity pro napětí od 35 kV výše jsou stanoveny dokumentem "Regulace týkající se kvality elektrické energie v Norském energetickém systému".

Tab. 11: Dovolené harmonické napětí dle [6] pro napětí od 35 kV do 245 kV

Liché harmonické				Sudé harmonické	
Ne násobky 3		Násobky 3			
Řád harmonické h	Harmonické napětí u <sub>h</sub>	Řád harmonické h	Harmonické napětí u <sub>h</sub>	Řád harmonické h	Harmonické napětí u <sub>h</sub>
5	3,0 %	3	3,0 %	2	1,5 %
7	2,5 %	9	1,5 %	4	1,0 %
11	2,5 %	15	0,5 %	6	0,5 %
13	2,0 %	21	0,3 %	>6	0,3 %
17	2,0 %	>21			
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,0 %				
>25	0,5 %				

Tab. 12: Dovolené harmonické napětí dle [6] pro napětí od 245 kV výše

Liché harmonické				Sudé harmonické	
Ne násobky 3		Násobky 3			
Řád harmonické h	Harmonické napětí u <sub>h</sub>	Řád harmonické h	Harmonické napětí u <sub>h</sub>	Řád harmonické h	Harmonické napětí u <sub>h</sub>
5	2,0 %	3	2,0 %	2	1,0 %
7	2,0 %	9	1,0 %	4	0,5 %
11	1,5 %	15	0,5 %	6	0,5 %
13	1,5 %	21	0,5 %	>6	0,3 %
17	1,5 %	>21	0,3 %		
19	1,5 %				
23	1,0 %				
25	1,0 %				
>25	0,5 %				

V oblasti rychlých změn napětí musí provozovatel přenosové a distribuční soustavy zajistit, že hodnoty nepřesáhnou limity v ohledu jednotlivých napěťových hladin. Pro rozdíl napětí v ustáleném stavu větší jak 3 % je stanoven maximální limit pro hladiny od 230 voltů do 35 kV maximálně 24 změn za 1 den a 12 změn pro vyšší napěťové hladiny. Tento limit změn platí také pro maximální hodnotu, která je větší jak 5%.

### 3.7 Portugalsko

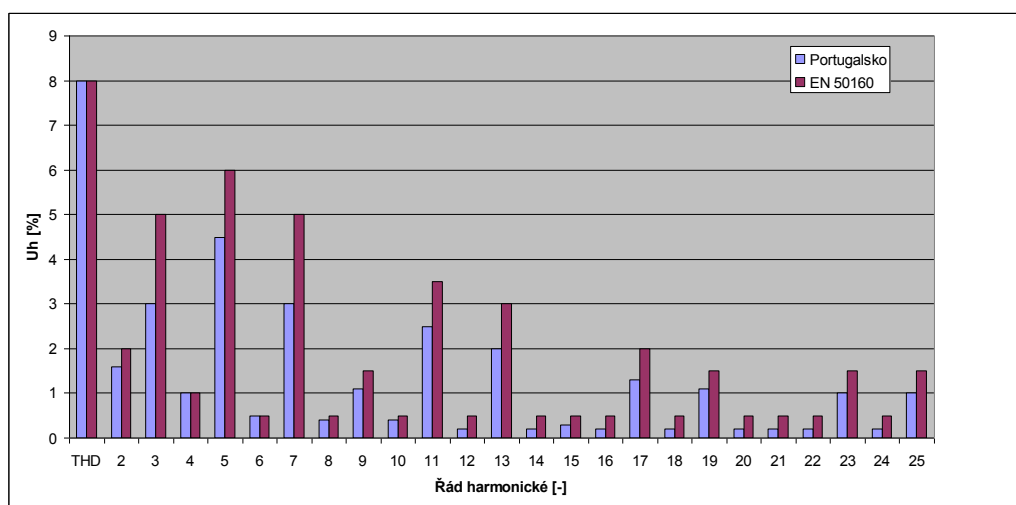
Tab. 13: Srovnání limitů Portugalska a České Republiky

Parametr napájecího napětí	Statistické vyhodnocení	Limit	Vs. ČR
Frekvence napájecího napětí	100% času	50 Hz $\pm$ 1 %	Přísnější
Odchyly napájecího napětí	100% času	$U_c \pm 7 \%$	Přísnější
Rychlé změny napětí	Neuvedeno	Neuvedeno	Volnější
Flikr	100% času 100% času	$P_{st} \leq 1$ $P_{lt} \leq 1$	Přísnější Přísnější
Poklesy napětí	Neuvedeno	Neuvedeno	Stejně
Krátkodobá přerušení	1 rok	Neuvedeno	Stejně
Dlouhodobá přerušení	1 rok	Neuvedeno	Stejně
Dočasná přepětí	1 rok	Neuvedeno	Stejně
Nesymetrie napájecího napětí	95 % času	$< 2 \%$	Stejně
Harmonická napětí	Střední hodnota za 10 minut po 95% času Střední hodnota za 10 minut po 95% času	THD $< 8 \%$ THD $< 4 \%$	Volnější Volnější
Úrovně napětí signálu	99 % času v 1 dni	Obr. 7	Stejně

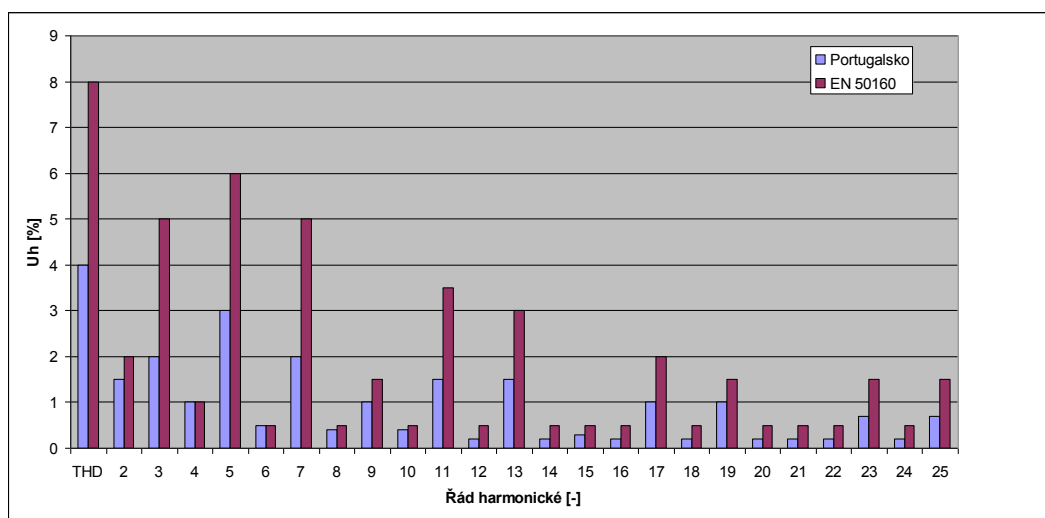
Dokument [11] udává, že pro odchyly napájecího napětí na hladinách vysokého a velmi vysokého napětí platí, že za normálních provozních podmínek musí být 95% naměřených desetiminutových středních efektivních hodnot během libovolného týdenního intervalu v rozmezí  $\pm 5\%$  domluveného napětí. Jinak je maximální dovolená odchylka napájecího napětí rovna  $\pm 7 \%$ .

Pro tyto hladiny dále v oblasti flikru platí pro krátkodobý i dlouhodobý flikr maximum rovné jedné. Udaný limit je přísnější, neboť neplatí pouze pro 95% naměřených hodnot v libovolném týdnu, ale pro celou dobu.

V oblasti harmonických napětí se daná země odlišuje od limitů České Republiky na hladině vysokého a velmi vysokého napětí. I když jsou maximální dovolené hodnoty jednotlivých harmonických přísnější, limity činitele THD jsou vůči limitům, které zadávají Pravidla provozování distribučních soustav, volnější.



Obr. 7: Porovnání jednotlivých harmonických napětí pro Portugalsko a IEC 50160 pro vysoké napětí



Obr. 8: Porovnání jednotlivých harmonických napětí pro Portugalsko a IEC 50160 pro vvn

### 3.8 Švédsko

Tab. 14 : Srovnání limitů Švédska a České Republiky

Parametr napájecího napětí	Statistické vyhodnocení	Limit	Vs. ČR
Frekvence napájecího napětí	99,5% času	50 Hz $\pm$ 1 %	Stejné
Odchylky napájecího napětí	100% času	$U_c \pm 10$ %	Stejné
Rychlé změny napětí	1 den	24/12	Přísnější
Flikr	95% času	$P_{lt} \leq 1$	Volnější
Poklesy napětí	Tabulky 16 a 17	-	Přísnější
Krátkodobá přerušení	1 rok	Neuvedeno	Stejné
Dlouhodobá přerušení	1 rok	Neuvedeno	Stejné
Dočasná přepětí	Tabulka 18	-	Přísnější
Nesymetrie napájecího napětí	95% času v 1 týdnu	$< 4$ %	Volnější
Harmonická napětí	Střední hodnota po 100 % času v 1 týdnu	THD $< 8$ %	Přísnější
Úrovně napětí signálu	99 % času v 1 dni	Obr. 7	Stejné

Pro poklesy napájecího napětí existuje ve Švédsku tabulka, udaná dokumentem [9], rozdělená do částí A, B a C. Poklesy, které spadají do oblasti A jsou považovány vzhledem k jejich délce a závažnosti jsou považovány za normální součást provozu sítě. V části B jsou takové poklesy, které musí být přezkoumány a napětí spadající do části C jsou zakázané. Hranice mezi jednotlivými částmi jsou různé pro napětí nad a pod 45 kV.

Pro dočasná přepětí do 1000 voltů platí tabulka 18, která je opět rozdělená do oblastí A, B a C pro které platí stejná pravidla jako pro poklesy napětí.

Pro nesymetrii napájecího napětí a harmonická napětí platí jako pro normu ČSN EN 50160 maximální možné limity avšak pro 100% času oproti 95 % času ve zmíněné normě.

Posledním rozdílem je oblast rychlých změn napětí, kde se opět hodnoty liší pro napětí do a nad 45kV. Do 45 kV je dovolený počet rychlých změn napětí 24 a nad 45 kV je to 12 změn za 1 den.

*Tab. 15: skupiny poklesů pro napětí do 45 kV*

U (%)	Délka t (ms)				
	$10 \leq t \leq 200$	$200 \leq t \leq 500$	$500 \leq t \leq 1000$	$1000 \leq t \leq 5000$	$5000 \leq t \leq 60000$
$90 > U \geq 80$	A		B		
$80 > U \geq 70$					
$70 > U \geq 40$					
$40 > U \geq 5$					C
$U < 5$					

*Tab.16: skupiny poklesů pro napětí nad 45 kV*

U (%)	Délka t (ms)				
	$10 \leq t \leq 200$	$200 \leq t \leq 500$	$500 \leq t \leq 1000$	$1000 \leq t \leq 5000$	$5000 \leq t \leq 60000$
$90 > U \geq 80$	A		B		
$80 > U \geq 70$					
$70 > U \geq 40$					
$40 > U \geq 5$					C
$U < 5$					

*Tab.17: skupiny přepětí napětí do 1 kV*

U (%)			
	$10 \leq t \leq 200$	$200 \leq t \leq 5000$	$5000 \leq t \leq 30000$
$U \geq 135$			C
$135 > U \geq 115$			
$115 > U \geq 111$			
$111 > U \geq 110$	A	B	
$U < 110$			



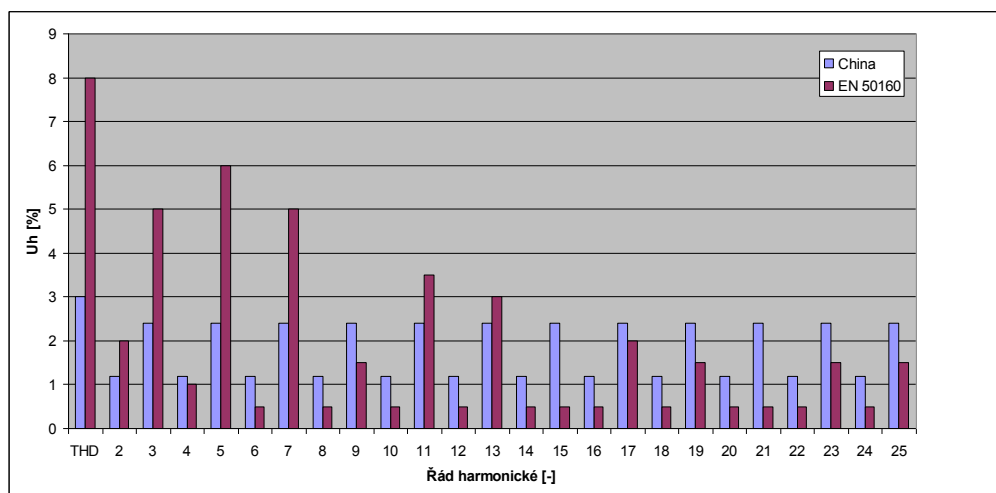
### 3.9 Čína

Tab. 18 : Srovnání limitů Číny a České Republiky

Parametr napájecího napětí	Statistické vyhodnocení	Limit	Vs. ČR
Frekvence napájecího napětí	100% času	50 Hz $\pm$ 1 %	Přísnější
Odchylky napájecího napětí	100% času	$U_c \pm 10$ %	Stejně
Rychlé změny napětí	$\leq 1000$ / hodina	4%	Volnější
	Ostatní	2%	Volnější
Flikr	95% času	$P_{st} \leq 1$	Volnější
	100% času	$P_{lt} \leq 0,8$	Volnější
Poklesy napětí	Neuvedeno	Neuvedeno	Stejně
Krátkodobá přerušení	1 rok	Neuvedeno	Stejně
Dlouhodobá přerušení	1 rok	Neuvedeno	Stejně
Dočasná přepětí	1 rok	$\sqrt{3}$ na jednotku	Přísnější
Nesymetrie napájecího napětí	95% času	$< 4$ %	Volnější
Harmonická napětí	Střední hodnota za 10 minut	Liché $< 2,4$ %	Přísnější
	Střední hodnota za 10 minut	Sudé $< 1,2$ %	Přísnější
		THD $< 3$ %	Přísnější
Úrovně napětí signálu	Neuvedeno	Neuvedeno	Volnější

Čínské normy jsou dle dokumentu [22] ve směru kvality elektrické energie mnohem náročnější než jejich evropská obdoba. Konkrétně se jedná o normy GB/T 12325 - 2003 Přípustné odchylky napájecího napětí, GB 12326 - 2000 kolísání napětí a flikr, GB/T 15543 - 1995 Faktor nevyváženosti přípustných napětí, GB/T 15945 - 1995 Přípustné odchylky pro napájecí systém a GB/T 18481 - 2001 Dočasné a přechodné přepětí.

Pro Čínu platí v oblasti kvality elektrické energie přísnější standardy a to u frekvence, dočasných přepětí a harmonických napětí. Oproti normě IEC 50160 jsou navíc přísnější v oblastech rychlých změn napětí a flikru. Pro rychlé změny napětí a pro krátkodobou míru vjemu flikru jsou uvedeny limity a dlouhodobá míra vjemu flikru má přísnější toleranci. Hodnoty uvedené v tabulce 19 platí pro napětí do 500 kV. Ustálené parametry mají limity určené pro 100 % času probíhajícího měření, s výjimkou úrovní napětí signálů v napájecím napětí.



Obr. 9: Porovnání jednotlivých harmonických napětí pro Čínu a IEC 50160

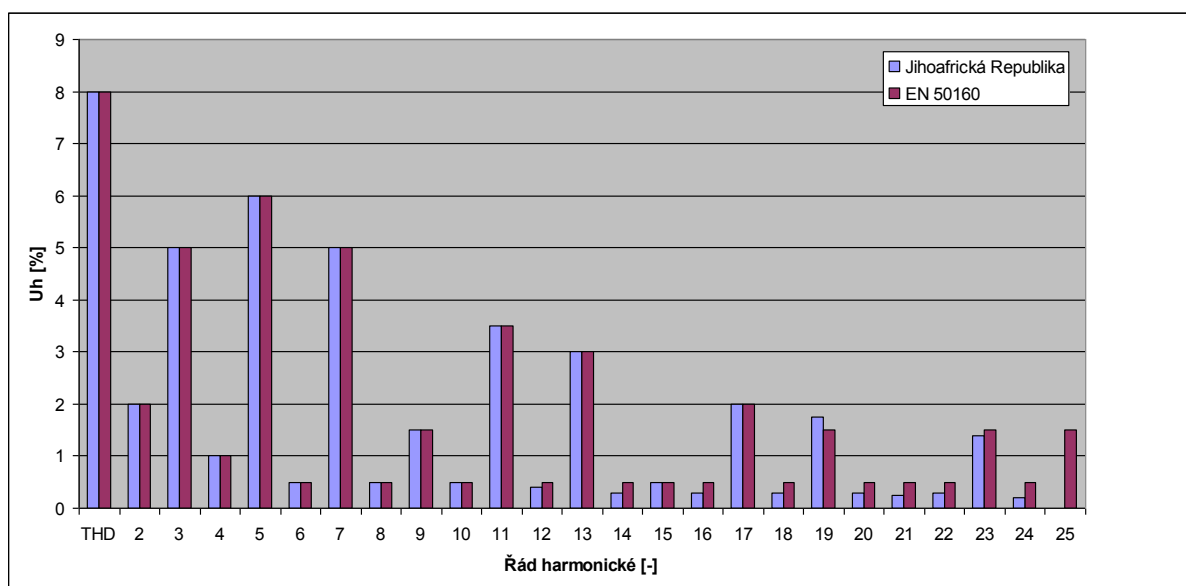
### 3.10 Jihoafrická republika

Vznik regulátora elektřiny v roce 1995 vedl k vytvoření 5 národních norem v oblasti kvality elektrické energie mezi lety 1996 a 1998. V roce 2004 došlo ke schválení listiny národní energetické regulace a následně v roce 2005 vznikl Národní energetický regulátor Jihoafrické republiky (NERSA), který vynucuje dodržování norem v oblasti kvality elektrické energie pro Jihoafrickou republiku. Jihoafrická obdoba evropské normy EN 50160, norma NRA - 048 - 2 " Dodávka elektřiny - Kvalita a Dodávka, edice 2: Charakteristiky napětí, Úrovně kompatibility, limity a posuzovací metody" definuje měřicí metody, úrovně dodržování a jednotlivé limity.

Tab. 19: Srovnání limitů Jihoafrické Republiky a České republiky

Parametr napájecího napětí	Statistické vyhodnocení	Limit	Vs. ČR
Frekvence napájecího napětí	99,5 % času za 1 rok	50 Hz $\pm$ 2 %	Volnější
	100 % času za 1 rok	50 Hz $\pm$ 2,5 %	Přísnější
Odchyly napájecího napětí	95 % času v 1 týdnu	$U_c \pm 5 \%$	Přísnější
	100 % času v 1 týdnu	$U_c + 10 \%$	Stejně
Rychlé změny napětí	Neuvedeno	Neuvedeno	Volnější
Flikr	95 % času v 1 týdnu	$P_{lt} \leq 1$	Stejně
Poklesy napětí	1 rok	Neuvedeno	Stejně
Krátkodobá přerušení	1 rok	Neuvedeno	Stejně
Dlouhodobá přerušení	1 rok	Neuvedeno	Stejně
Dočasná přepětí	Neuvedeno	Neuvedeno	Stejně
Nesymetrie napájecího napětí	95 % času	$< 2 \%$	Stejně
Harmonická napětí	Střední hodnota po 95 % času v 1 týdnu	THD $< 8 \%$	Přísnější
Úrovně napětí signálu	99 % času v 1 dni	$< 8 \%$	Volnější

Jak je vidět z tabulky, norma NRS 048-2:2003 ukládá striktnější limity pro frekvenci, odchyly napájecího napětí a individuální harmonické vyšších řádů od 12. výše, kdy tyto limity jsou přísnější nebo stejné jako evropská norma. Výjimku tvoří harmonické napětí o frekvenci 950 Hertzů, kde je norma povolnější.



Obr. 10: Porovnání jednotlivých harmonických napětí pro Jihoafrickou Republiku a IEC 50160

### 3.11 Zambie

Tab. 20 : Srovnání limitů Zambie a České republiky

Parametr napájecího napětí	Statistické vyhodnocení	Limit	Vs. ČR
Frekvence napájecího napětí	100 % času za 1 rok	50 Hz $\pm$ 2 %	Volnější
Odchyly napájecího napětí	95 % času v 1 týdnu	$U_c \pm 5 \%$	Přísnější
Rychlé změny napětí	Neuvedeno	Neuvedeno	Volnější
Flikr	95 % času v 1 týdnu	$P_{st} \leq 1$ $P_{lt} \leq 0,8$	Volnější
Poklesy napětí	1 rok	Tab. 23	Přísnější
Krátkodobá přerušení	1 rok	Neuvedeno	Stejně
Dlouhodobá přerušení	1 rok	Neuvedeno	Stejně
Dočasná přepětí	Neuvedeno	Neuvedeno	Stejně
Nesymetrie napájecího napětí	95 % času v 1 týdnu	$< 2 \%$	Stejně
Harmonická napětí	Střední hodnota po 95 % času v 1 týdnu	THD $< 8 \%$	Volnější
Úroveň napětí signálu	99 % času v 1 dni	Obr. 7	Stejně

Tab. 21 : Srovnání limitů Zambie a České republiky

Pro Zambii platí norma DZS 387-1:2009 Electricity supply - power quality and reliability part 1: Overview of Implementation and minimum standards [23]. V oblasti frekvence jsou v této zemi uplatňovány 2 limity. Pro rozvodnou síť platí uvedená hodnota 2% a v ostrovním provozu je limit volnější a dovoluje rozmezí  $\pm 5 \%$ . Hodnoty pro harmonická napětí uvedené v tabulce 22 platí pro napěťové hladiny do 33 kV včetně.

Pro odchyly napájecího napětí platí, že do 11 kV je dovolená hodnota  $\pm 10\%$  a pro hodnoty napětí nad 11 kV to je  $\pm 5\%$ . Těchto hodnot musí dosáhnout 95% desetiminutových středních efektivních za normálních provozních podmínek v libovolném týdenním období.

Pro trojfázové sítě platí hodnota maximální nesymetrie 2%. Pokud se jedná o sítě, kde převládá většina jednofázových a dvojfázových odběrů, tam platí maximální dovolená hodnota 3%.

Tab. 21: Hodnoty maximálních dovolených hodnot jednotlivých harmonických

Liché harmonické				Sudé harmonické	
Ne násobky 3		Násobky 3			
Řád harmonické h	Harmonické napětí $u_h$	Řád harmonické h	Harmonické napětí $u_h$	Řád harmonické h	Harmonické napětí $u_h$
5	6 %	3	5 %	2	2 %
7	5 %	9	1,5 %	4	1 %
11	3,5 %	15	0,3 %	6	0,5 %
13	3 %	21	0,2 %	8	0,5 %
17	2 %	>21	0,2 %	10	0,5 %
19	1,5 %			12	0,2 %
23	1,5 %			>12	0,2 %
25	1,5 %				
>25	0,2+1,3x25/h				

*Tab. 22: Počet dovolených poklesů napětí*

Rozsah napětí sítě	Počet poklesů za rok				
	Kategorie poklesů				
	Z	T	S	X	Y
$1 \text{ kV} \leq U_n \leq 66 \text{ kV}$	40	60	60	200	300
$1 \text{ kV} \leq U_n \leq 66 \text{ kV}$ (venkov)	80	100	140	430	640
$66 \text{ kV} \leq U_n \leq 220 \text{ kV}$	30	50	50	160	240
$U_n > 220 \text{ kV}$	5	10	15	45	90

## 4. Technické prostředky pro monitorování parametrů kvality

Následující kapitola diplomové práce se zabývá přístroji, které jsou používány pro měření kvality elektrické energie. Společností, které se zabývají výrobou těchto prostředků je celá škála. Známymi jmény v této oblasti jsou společnosti ELCOM, Fluke, KMB Systems a Chauvin Arnoux.

Pro analyzátory kvality elektrické energie existují třídy, které stanovují limitní nejistoty při měření jednotlivých parametrů. Tyto limity jsou stanoveny normou IEC 61000-4-30 Elektromagnetická kompatibilita - Zkušební a měřicí technika - Metody měření kvality energie. Tento dokument stanovuje 3 třídy analyzátorů - A, B a S. Přístroje spadající do třídy A jsou takové přístroje, které pokud budou připojeny ke stejným signálům ukazovat stejné hodnoty. Přístroje třídy A musí splnit nejpřísnější limity zadané normou. Analyzátory třídy S jsou používány pro statistická zjištění a smluvní aplikace tam, kde nejsou spory. Požadavky na přesnost a výkon jsou oproti třídě A menší. Pro přístroje třídy B jsou užitečné pro kvalitativní průzkumy, při řešení problémů a jiných činnostech, kde není požadována vysoká přesnost. Zařízení třídy B zobrazí užitečné, avšak nepřliš přesné výsledky.

Norma IEC 61000 - 4 - 30 definuje třídu A dle následující tabulky:

*Tab. 23: definice třídy A*

Parametr	Rozsah	Tolerance nejistoty
Frekvence	50 Hz $\pm$ 7,5 Hz 60 Hz $\pm$ 9 Hz	$\pm$ 10 mHz $\pm$ 10 mHz
Napětí	10 – 150% dohodnutého napětí	$\pm$ 0,1%
Proud	Rozsah přístroje	$\pm$ 0,1%
Flikr $P_{st}/P_{lt}$	0,2 až 10	$\pm$ 5%
Harmonické napětí	0 až 5%	$\pm$ 0,15%
Meziharmonické napětí	0 až 200%	$\pm$ 5%
Nevyváženost	$\Delta V/V$ při PST = 2	$\pm$ 5%

### 4.1 Fluke 437 - II

Multifunkční analyzátor od firmy Fluke je určen pro síť operující nejen na frekvencích 50 a 60 Hz ale také pro síť s frekvencí 400 Hz, tedy pro takové síť, kde mohou být transformátory a motory mnohem menší. Použití si tedy najde při měření kvality elektrické energie v leteckých, námořních, armádních a vesmírných systémech. V souladu s normou EN50160 analyzátor monitoruje parametry elektrické energie. V oblasti harmonických vyšších řádů a meziharmonických měří přístroj až do 50. úrovně. Vestavěný software umožňuje zobrazení grafů a generování zpráv. Software také dokáže vypočítat elektrické ztráty z naměřených hodnot činného a jalového výkonu, nevyvážení a harmonických. Funkce výkonová křivka představuje vyšší stupeň standardního měření kvality elektrické energie; režim rychlého záznamu dat a přináší možnost zjištění dynamické charakteristiky systému. Zařízení dále dokáže měřit účinnost měniče energie měřením výstupního výkonu střídavého proudu a vstupního výkonu stejnosměrného proudu. Analyzátor Fluke 437 II je navržen pro maximální bezpečnost a je certifikován pro použití v prostředích CAT III a IV a je možné jej používat na vstupní přípojce. Pro ukládání dat slouží ve standardním vybavení 8 GB velká SD karta, kterou je

volitelně možné vyměnit za až 32 GB paměť. Díky Li-ion baterii je zařízení schopné pracovat až 7 hodin v provozu na jedno nabití.



Obr. 11: Analyzátor 437 II

## 4.2 ELCOM ENA 500

Přístroj patřící do třídy A, přenosný analyzátor ENA500 nesplňuje pouze normu ČSN EN 61000-4-30 ale i další dokumenty platné pouze v ČR, jako jsou pravidla provozování distribučních soustav a podniková norma PNE 33 3430-7, které rozšiřují požadavky na analyzátory kvality elektrické energie. Varianty přístroje ENA500 poskytují možnost monitorovat a analyzovat několik třífázových soustav jediným analyzátozem. Pro komunikaci jsou nainstalovány standardní rozhraní VGA, 2x USB port, RS232, RS485 a Ethernet, které jsou soustředěny na zadní straně analyzátoru, kdežto připojení napěťových a proudových vstupů je realizováno na přední straně skříně. Společnost ELCOM daný přístroj prodává ve více variantách, které se liší různým počtem napěťových a proudových vstupů. K dostání jsou čtyři varianty, jako je například možnost se čtyřmi napěťovými a proudovými vstupy nebo osmi napěťovými a 8 proudovými vstupy. ENA500 jako takový nemá vlastní displej nebo prostředky k ovládání, jedná se o výkonný počítač s vlastní softwarovou aplikací a je potřeba jej doplnit pro zobrazení a ovládání monitorem, myší a klávesnicí.



Obr. 12: Analyzátor ENA 500.13

### 4.3 KMB Systems - SMPQ 33

Přístroj SMPQ 33 české společnosti KMB Systems je určen pro kontinuální měření a vyhodnocování kvality elektrické energie dle normy EN 50160. Jedná se o přístroj třídy S, která je stanovena normou IEC EN 61000 - 4 - 30. Použití najde tento přístroj v sítích tří- až pětivodičových o nominální hodnotě napětí 400 voltů. Proudové vstupy jsou nastaveny na hodnotu 5 ampérů, ale je možné použít i 1 ampéru. Zaznamenávají jsou všechny události typu pokles nebo výpadky napětí a přepětí. Přístroj lze nastavit tak, aby tyto události posuzoval z hlediska normy EN 50160, pravidel provozování distribuční soustavy nebo vlastní definice. Celý záznam události je možné zobrazit na detailním oscilogramu. Přístroj měří jak harmonické vyšších řádů (až do 63. harmonické složky) tak i mezipharmonické složky. Naměřené hodnoty se ukládají do paměti o maximální velikosti od 512 MB až do 2 GB. Analyzátor je možné synchronizovat z GPS, externím pulzem anebo pomocí PC. Pro vzdálený přístup má SMPQ 33 možnost připojení přes Ethernet, RS-232 a nebo RS-485. Celý přístroj je velmi malý s rozměry 96x96x80 mm.



Obr. 13: Analyzátor SMPQ 33

## 4.4 Chauvin Arnoux 8435

Ochranný kufřík s krytím IP67 dovoluje vestavěnému přístroji použití i v těch nejnepríznivějších podmínkách, kde by jiné analyzátory nebylo možné použít. Tento třífázový analyzátor kvality elektrické energie v třídě přesnosti B umožňuje rychlé měření, monitorování a diagnostiku více jak 230 různých parametrů sítě od činitele zkreslení THD, přes činitele výkyvu CF, po K faktor pro transformátory. Analyzátor dokáže vypočítat hodnoty jednotlivých harmonických až do 50., jejich fázový posun vůči základní harmonické a směr toku těchto složek. Součástí je vestavěný barevný LC displej pro zobrazení naměřených hodnot (grafické zobrazení průběhu, tabulkové hodnoty, Fresnelův diagram) a jejich analýzu. Instalovaný akumulátor zaručuje v režimu záznamu výdrž až 25 hodin, poté je potřeba jej nabíjet 5 hodin. Pro záznam slouží 2 GB SD velká paměť, která dokáže pojmout 50 uložených obrazovek, 16 000 alarmů a 100 záznamů s délkou trvání až několik měsíců. Ke komunikaci je přístroj vybaven USB rozhraním s možností přenosu dat do obslužného softwaru. Zařízení je pro pohodlnou práci vybaveno kompletní českou lokalizací a není tedy potřeba znalost cizích jazyků.



Obr. 14: analyzátor C.A 8435

## 4.5 MEg 40

Tento univerzální panelový měřicí přístroj pro všechny hladiny napětí a zobrazuje je následovně na LCD displeji. Změřené události měří dle normy ČSN EN 50160 a jedná se o přístroj třídy S dle ČSN EN 61000-4-30. Vstupy pro přivedení měřeného třífázového napětí a proudu jsou ze zadní strany analyzátoru a následně může být zařízení nainstalováno do panelu pro trvalý provoz. Přístroj má



vestavěnou paměť o velikosti 4 MB, kterou je možné nahradit 16 MB velkou vyjímatelnou paměťovou kartou CARD. Standardní komunikace s MEg40 je zajištěna pomocí USB rozhraní, vyrábí se však i varianty s rozhraním RS 232 a RS 485. Měřicí režimy je možné programovat pomocí klávesnice monitoru nebo pohodlněji pomocí PC. Rozměry analyzátorů jsou pouze 90x90x90 mm.



*Obr. 15: Analyzátor MEg 40*

## 4.6 HIOKI - PW3198

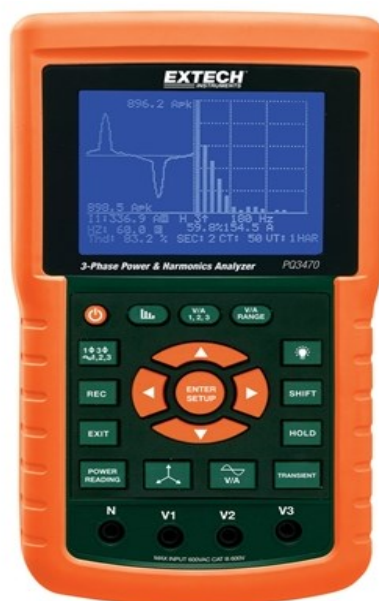
Analyzátor spadající do třídy A dle standardu IEC 61000-4-30 vyniká svou velkou SD pamětí, která činí 2 GB a dovoluje tak zaznamenávat až 55 týdnů dat s uložením až 55 000 událostí. Díky možnosti připojit GPS zařízení je dále možné přesně vyhodnotit, kdy se dané události staly. Jako všechny uvedené analyzátorů i tento měří parametry dle normy EN 50160 a flickr dle IEC 61000-4-15. Pro měření jsou zabudovány 4 napěťové a 4 proudové vstupy. Přístroj je možné používat jak ve střídavé tak stejnosměrné síti. Přístroj je bezpečně schopen zobrazit přechodná přepětí do 6000 voltů s frekvencí až do 700 kHz. Analyzátor zaznamenává při měření harmonické až do 50. řádu. Pro komunikaci je zařízení vybaveno USB portem, LAN konektorem, rozhraním pro RS-232 a již zmiňovanou vyjímatelnou SD kartou. Celé ovládání a zobrazení od varování přes maličkosti jako je grafické zobrazení využití paměti, až po nastavení měření vypadá velmi přehledně a intuitivně.



Obr. 16: Analyzátor PW3198

## 4.7 EXTECH - PQ3470

Analyzátor spadající do třídy přesnosti B, PQ3470 má velký podsvícený displej, který zobrazuje zároveň 35 parametrů kvality elektrické energie. Displej dokáže současně zobrazovat jak průběh napětí tak i jednotlivé harmonické, které měří do 50. řádu. Pro napájení přístroje slouží 8 AA baterií, které jsou součástí prodaného zboží společně se 4 krokosvorkami. Pro ukládání naměřených dat, které jsou formátovány do EXCEL tabulky, slouží 2 GB velká SD karta, která pojme až 30000 čtení. Pro měření v sítích s velkým výkonem obsahuje analyzátor nastavitelný proudový a napěťový transformátor s převody 1 až 600 a 1 až 1000.



Obr. 17: Analyzátor PQ3470

## 4.8 DRANETZ - PowerGuide 4400

Analyzátor PowerGuide 4400 s intuitivním dotykovým displejem se řadí dle normy IEC 61000 - 4 -30 do třídy A a provádí měření většiny veličin dle normy EN 50160. Pro flickr jsou brány limity normy IEC 61000-4-15 Zkušební a měřicí technika - Flickrmetr - Specifikace funkce a dimenzování a měření harmonických je prováděno s ohledem na normu IEC 61000-4-7 Zkušební a měřicí technika - Všeobecná směrnice o měření a měřicích přístrojích harmonických a mezharmionických pro rozvodné sítě a zařízení připojená do nich. Tento přístroj je možné použít pro měření jak střídavých tak stejnosměrných veličin. Pro měření veličin je zde využito 4 napěťových a 4 proudových vstupů s rozsahy 1 až 600 V a 1 až 3000 A. Analyzátor vyhodnocuje širokou škálu parametrů včetně faktoru výkyvu a K faktoru. Zařízení je schopné měřit napětí až do 63. harmonické a mezharmionické. Přístroj je možné přepnout do 12 různých světových jazyků, jako je například Angličtina, Švédština nebo Čínština (tradiční i zjednodušená). Pro uložení naměřených dat je určena zabudovaná 4 GB flash paměť. Pro dálkovou komunikaci je přístroj vybaven USB portem, RS-232 linkou a Ethernetem. Přístroj je dále vybaven "posuzovacím" signalizátorem, který ihned charakterizuje jednotlivé události.



Obr. 18: Analyzátor PowerGuide 4400

## 4.9 HT - PQA823

Tento analyzátor se kvůli přesnosti udávané výrobcem řadí z hlediska normy IEC 61000-4-30 do třídy B a není tedy možné používat jej pro přesná měření. Při měření využívá norem EN 50160 a IEC 61000-4-15. Pro ovládání je používán barevný dotykový displej s virtuální klávesnicí, který zobrazuje naměřené hodnoty jak v číselném tak grafickém módu a to v podobě histogramů a průběhů. Pro uložení naměřených dat je dostupná 15 MB vnitřní paměť, která odpovídá velikosti dat měřených po dobu 110 dní s měřením 251 parametrů každých 15 minut. Zařízení umožňuje také připojení externí CF karty nebo USB paměti na pravé straně zařízení. Komunikace s počítačem je možná pouze pomocí USB rozhraní, připojení přes sériový port nebo Ethernet není možné. V přístroji je pro

analýzu získaných dat používán software Windows. Pro získání dat je možné použít jak předdefinované tak uživatelem nastavené konfigurace. Li-ionová baterie dovoluje provozovat analyzátor více jak 3 hodiny, případně je možné jej nabíjet 100/240V adaptérem.



Obr. 19: analyzátor PQA823

#### 4.10 Tektronix - PA4000

Tento analyzátor, u kterého výrobce udává přesnost měření napětí  $\pm 0,01\%$  z hodnoty  $\pm 0,04$  z rozsahu, najde využití tam, kde jsou kladeny nejnáročnější zkušební požadavky. Rozdělení proudového vstupu do dvou rozsahů zaručuje optimální rozlišení měření od mikrowattů po kilowatty. Speciální instalovaný bočník také zlepšuje teplotní závislosti a umožňuje větší přetížení bočníku. Analyzátor PV4000 umožňuje také volbu speciálních režimů měření, např. PWM motor, Ballast mód, Integrátor mód apod. Tyto režimy umožňují měření nestandardních průběhů, použití filtrů, synchronizaci modulovaných průběhů atd. Další význačnou vlastností přístroje je rozsah měření harmonických složek. Standardní analyzátory a přístroje pro revizní techniky měří harmonické složky do 50. či 63. řádu. Analyzátor Tektronix PA4000 měří v reálném čase (současně s jinými parametry) jak harmonické složky až do 100té, tak celkové harmonické zkreslení (THD). U harmonických složek není měřena pouze amplituda, ale i fáze a výkon, což jsou kritické veličiny např. při analýze ztrát v rotačních strojích. Přesnosti měření harmonických složek napětí a proudů jsou výrobcem deklarovány až do 1 MHz (v celém kmitočtovém pásmu analyzátoru). Standardně je přístroj dodáván s rozhraním RS-232, USB a Ethernet. Naměřené veličiny lze přenášet také přímo na USB disk. Součástí komunikace je také PC software.



*Obr. 20: analizátor PA4000*

## 5. Ukázky vyhodnocení z míst s nevyhovujícími parametry kvality

V této kapitole diplomové práce se zabývám naměřenými daty (data Katedry elektroenergetiky FEI VĚB-TUO) pro různé oblasti a jejich následným vyhodnocením dle normy ČSN EN 50160. K vyhodnocení získaných dat bylo použito tabulkového procesoru Excel. Samostatná měření probíhala po různou dobu a v této kapitole jsou vyhodnocena data měřených míst jak nevyhovující tak, pokud byly naměřeny, vyhovující hodnoty.

### 5.1 Frýdek-Místek

#### 5.1.1 Vyhodnocení dat z místa FM-NN-1

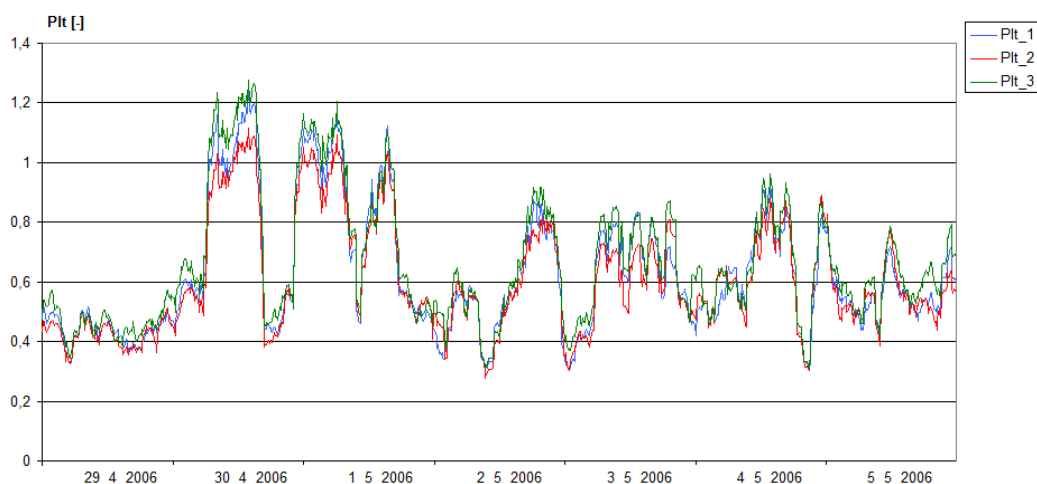
##### 5.1.1.1 Nevyhovující

Pro tuto oblast trvala doba měření 23 dní a 11 hodin a hodnoty naměřené v této části Frýdku-Místku v období od 29. dubna do 5. května roku 2006 jsou nevyhovující pouze v oblasti dlouhodobé míry vjemu flikru, kdy tento jev překročil svou dovolenou hodnotu ve všech třech fázích jen v nepatrné míře. Ostatní parametry jsou v dovolených mezích.

Tab. 24: Tabulka vyhodnocených nevyhovujících hodnot v místě FM-NN-A

Veličina	Limit	Interval	95% hodnota	95% hodnota	95% hodnota	Splňuje?
<b>Celkově</b>						
<b>Napětí (230V)</b>			L1	L2	L3	
Napětí 95%	90% -110%	10 min	239,675	241,149	240,379	ANO
Napětí 100%	85% -110%	10 min	243,809	243,216	242,667	ANO
<b>Flikr</b>			L1	L2	L3	
Plt	$\leq 1$	10 min	1,076	1,003	1,117	NE
<b>Nesymetrie U</b>			3 ~			
Zpětná 95%	$\leq 2 \%$	10 min	0,371%			ANO
<b>THD U</b>			L1	L2	L3	
THD U 95%	$\leq 8\%$	10 min	3,768%	3,666%	3,766%	ANO

Na následujícím grafu je vidět, že k překročení došlo pouze ve dnech 30. dubna a 1. května, jinak byla hodnota flikru v dovolené oblasti mezi hodnotami 0,4 a 0,95. Nejrazantnější byla hodnota ve třetí fázi, což potvrzuje i vypočtená hodnota. Naopak fáze číslo dva, pro kterou byla vypočtena hodnota Plt 1,003 měla překročení dovolené hodnoty nejmírnější.



Obr. 21: graf nevyhovujícího průběhu Plt z FM-NN-1

### 5.1.1.2 Vyhovující

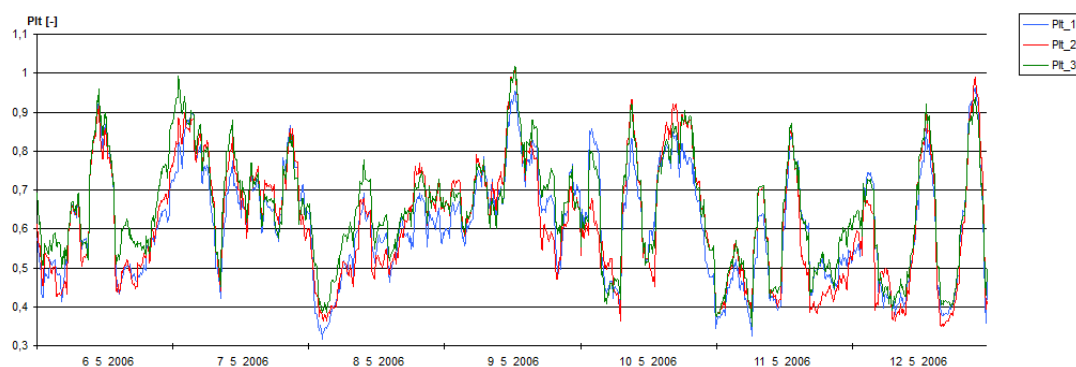
V dalším týdnu splňovaly všechny měřené veličiny limity zadané normou a hodnoty flikru se po 95 % měřeného času oproti předešlému týdnu nedostaly ani nad hodnotu 0,9.

Tab. 25: Tabulka vyhodnocených vyhovujících hodnot v místě FM-NN-A

Veličina	Limit	Interval	95% hodnota	95% hodnota	95% hodnota	Splňuje?
<b>Celkově</b>						
<b>Napětí (230V)</b>			L1	L2	L3	
Napětí 95%	90%-110%	10 min	240,179 V	241,345 V	240,773 V	ANO
Napětí 100%	85%-110%	10 min	241,594 V	243,142 V	242,405 V	ANO
<b>Flikr</b>			L1	L2	L3	
Plt	$\leq 1$	10 min	0,881	0,851	0,890	ANO
<b>Nesymetrie U</b>			3 ~			
Zpětná 95%	$\leq 2 \%$	10 min	0,355%			ANO
<b>THD U</b>			L1	L2	L3	
THD U 95%	$\leq 8 \%$	10 min	3,947%	3,937%	4,041%	ANO

Z vypočtených hodnot uvedených v tabulce je vidět, že třetí fáze byla opět nejhorší a limitu Plt se přiblížila nejvíce. Toto můžeme pozorovat i na grafu, kde zelený průběh má téměř vždy nejvyšší hodnotu. Pro průběh fáze číslo 2 platí opět nejnížší vypočtená hodnota, což je možné vypožorovat i z průběhu, kde je průběh flikru této fáze většinu času nejmenší v porovnání s ostatními fázemi.





Obr. 22: graf vyhovujícího průběhu Plt z FM-NN-1

## 5.1.2 Vyhodnocení dat z místa FM-NN-2

### 5.1.2.1 Nevyhovující

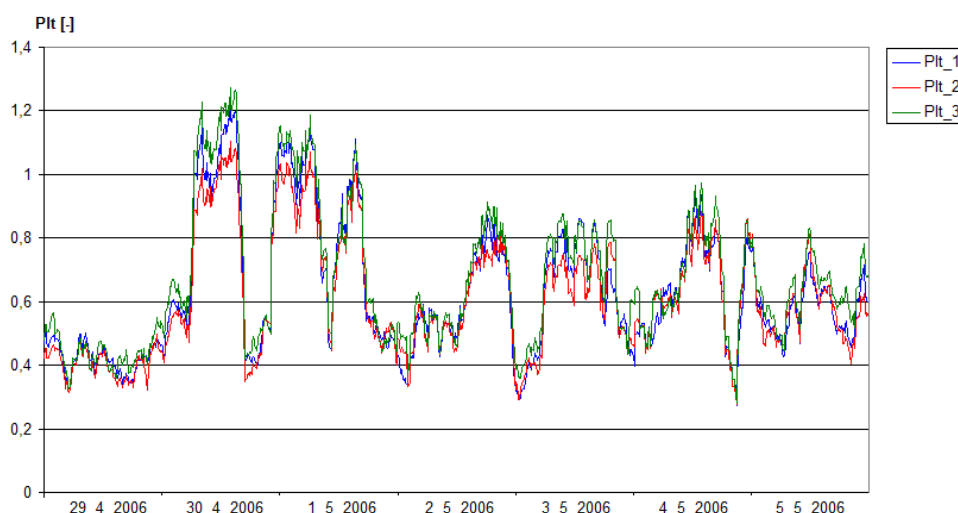
Problémy s dlouhodobou mírou vjemu flikru Plt se projeví v tom samém časovém období jak na FM-A tak na FM-C kde je změřený průběh téměř totožný. Ostatní měřené hodnoty na hladině nízkého napětí opět splňovaly uvedené limity a proto jejich průběhy dále neuvádím.

Tab. 26: Tabulka vyhodnocených nevyhovujících hodnot v místě FM-NN-C

Veličina	Limit	Interval	95% hodnota	95% hodnota	95% hodnota	Splňuje?
<b>Celkově</b>						
<b>Napětí (230V)</b>			L1	L2	L3	
Napětí 95%	90%-110%	10 min	244,685	244,744	244,289	ANO
Napětí 100%	85%-110%	10 min	246,741	246,876	246,720	ANO
<b>Flikr</b>			L1	L2	L3	
Plt	$\leq 1$	10 min	1,068	0,990	1,107	NE
<b>Nesymetrie U</b>			3 ~			
Zpětná 95%	$\leq 2 \%$	10 min	0,243%			ANO
<b>THD U</b>			L1	L2	L3	
THD U 95%	$\leq 8\%$	10 min	3,960%	4,042%	4,197%	ANO

K překročení došlo opět ve dnech 30. dubna a 1. května s tím, že pro třetí fázi byla opět vypočtena nejhorší hodnota. Fáze L2 oproti ostatním fázím jako jediná v tomto týdnu nepřekročila svůj limit a splňuje daný limit.





Obr. 23: graf nevyhovujícího průběhu PIt z FM-NN-2

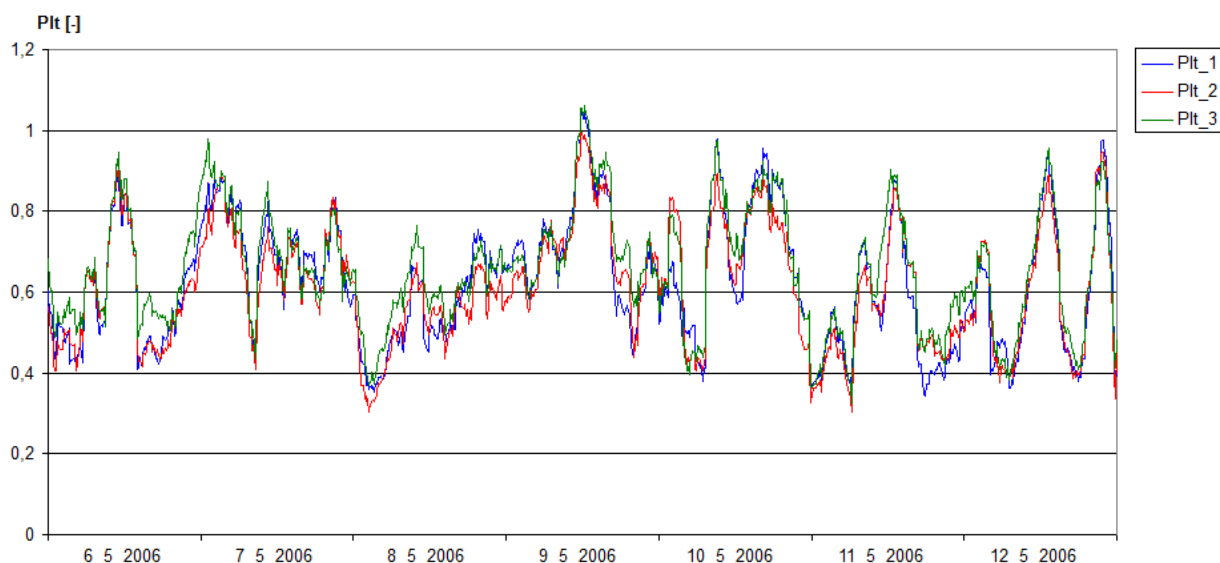
### 5.1.2.2 Vyhovující

Pro týden od 6. května do 12. května byly všechny hodnoty v dovolených rozmezích a jako v předešlých měřeních opět platí, že fáze L2 má nejnižší hodnotu dlouhodobé míry vjemu flikru a fáze L3 ji má naopak nejhorší.

Tab. 27: Tabulka vyhodnocených vyhovujících hodnot v místě FM-NN-2

Veličina	Limit	Interval	95% hodnota	95% hodnota	95% hodnota	Splňuje?
<b>Celkově</b>						
<b>Napětí (230V)</b>			L1	L2	L3	
Napětí 95%	90%-110%	10 min	245,023	245,021	244,556	ANO
Napětí 100%	85%-110%	10 min	246,633	246,538	246,147	ANO
<b>Flikr</b>			L1	L2	L3	
Plt	$\leq 1$	10 min	0,891	0,864	0,906	ANO
<b>Nesymetrie U</b>			3 ~			
Zpětná 95%	$\leq 2 \%$	10 min	0,253%			ANO
<b>THD U</b>			L1	L2	L3	
THD U 95%	$\leq 8 \%$	10 min	4,121%	4,190%	4,366%	ANO

Na grafu je vidět jak se hodnoty flikru pohybovaly v rozmezí od 0,3 do 1 a fáze L1 a L3 tuto hodnotu dokonce na chvíli překročili v odpoledních hodinách 9. května. Fáze L2 má svou maximální hodnotu lehce pod 1 a opět měla minimální průběh.



Obr. 24: graf vyhovujícího průběhu  $P_{It}$  z FM-NN-2

### 5.1.3 Vyhodnocení dat z místa FM-VN

#### 5.1.3.1 Nevhovující

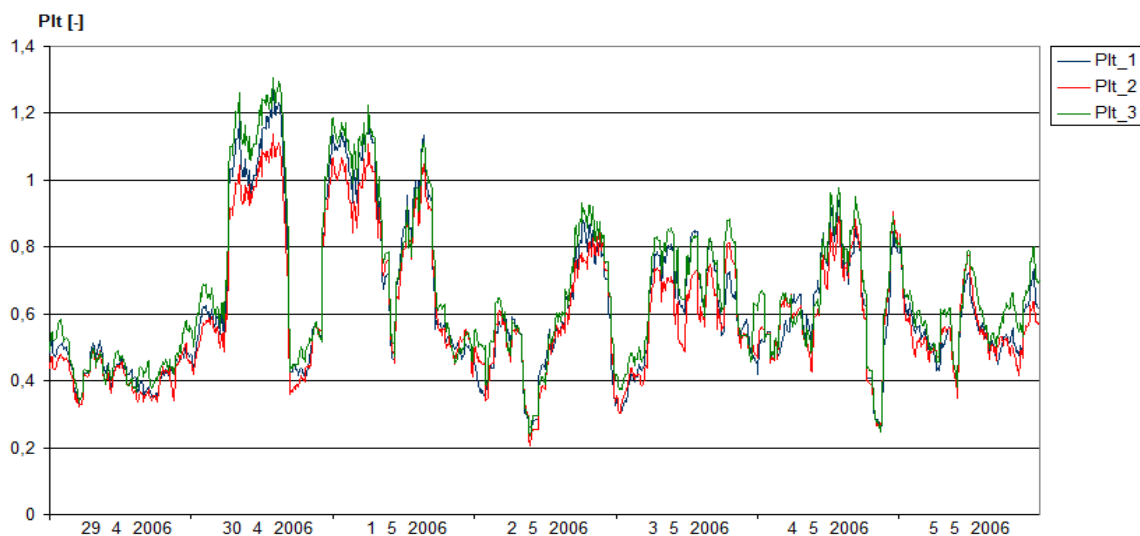
Na hladině vysokého napětí 22 kV se v týdnu 29. dubna až 5. května projevila opět lehce zvýšená hodnota flikru  $P_{It}$ , který je v porovnání s vypočtenými hodnotami z hladiny nízkého napětí závažnější. V porovnání s těmito hodnotami se fliker na fázích 1 a 3 zvedl oproti přírůstku na fázi 2 o lehce vyšší hodnotu.

Tab. 28: Tabulka vyhodnocených nevhovujících hodnot v místě FM-VN

Veličina	Limit	Interval	95% hodnota	95% hodnota	95% hodnota	Splňuje?
<b>Celkově</b>						
<b>Napětí (22kV)</b>			L1	L2	L3	
Napětí 95%	90%-110%	10 min	23,248	23,308	23,276	ANO
Napětí 100%	85%-110%	10 min	23,405	23,473	23,466	ANO
<b>Fliker</b>			L1	L2	L3	
$P_{It}$	$\leq 1$	10 min	1,099	1,020	1,140	NE
<b>Nesymetrie U</b>			3 ~			
Zpětná 95%	$\leq 2 \%$	10 min	0,236%			ANO
<b>THD U</b>			L1	L2	L3	
THD U 95%	$\leq 8\%$	10 min	2,850%	2,843%	2,35%	ANO

Opět je na sestrojeném grafu vidět, jak došlo k překročení dovolené hodnoty 30. dubna a 1. května, došlo ovšem ke zvýšení všech hodnot a téměř k překročení i 4. května. Obecně je vidět, že jsou

průběhy v jednotlivých fázích oproti průběhům na hladině nízkého napětí více rozptýleny. Nejhorších hodnot bylo opět dosaženo na fázi L3 a k nejmírnějšímu překročení došlo na fázi L2.



Obr. 25: graf nevyhovujícího průběhu Plt z FM-VN

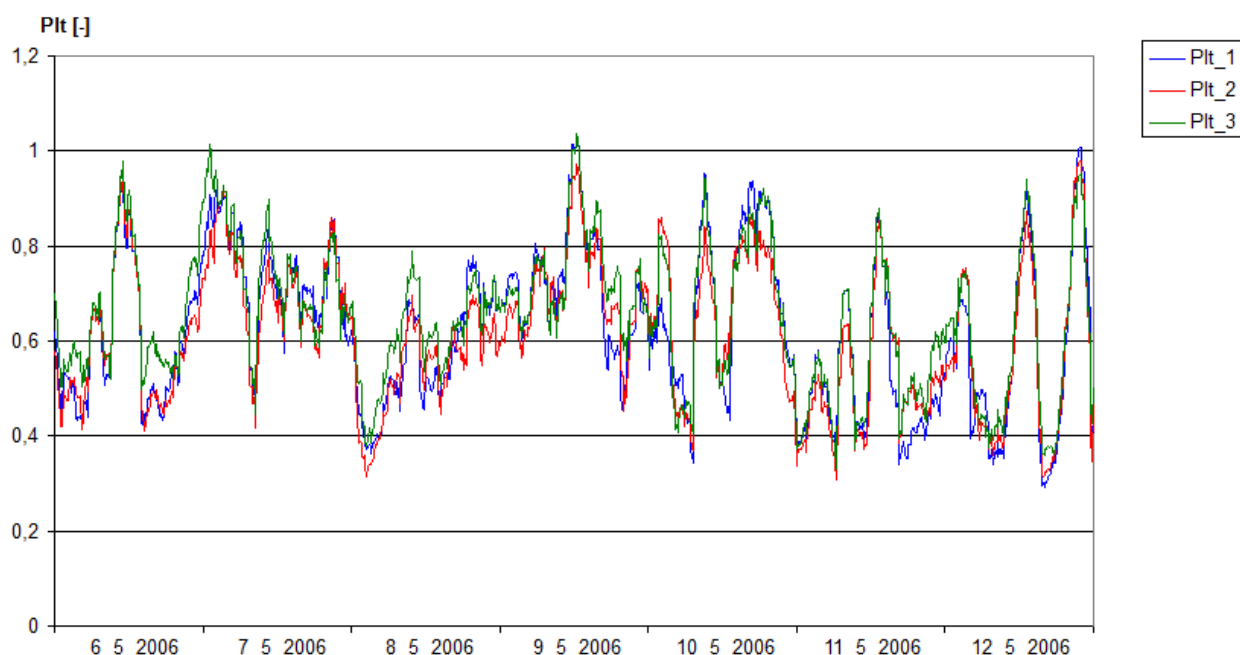
### 5.1.3.2 Vyhovující

Následující týden byly všechny parametry včetně flickru  $Plt$  ve svých dovolených mezích a opět došlo ke zvýšení vypočtených hodnot flickru ve všech třech fázích. Tento nárůst byl ve všech fázích různý a nejrazantnější byl v první fázi. Naopak nejmenší byl tento přírůstek opět ve fázi L2. Ostatní parametry se oproti hladině nízkého napětí zmenšily.

Tab. 29: Tabulka vyhodnocených vyhovujících hodnot v místě FM-VN

Veličina	Limit	Interval	95% hodnota	95% hodnota	95% hodnota	Splňuje?
<b>Celkově</b>						
<b>Napětí (22kV)</b>			L1	L2	L3	
Napětí 95%	90%-110%	10 min	23,272	23,333	23,293	ANO
Napětí 100%	85%-110%	10 min	23,403	23,464	23,438	ANO
<b>Flikr</b>			L1	L2	L3	
Plt	$\leq 1$	10 min	0,900	0,859	0,905	ANO
<b>Nesymetrie U</b>			3 ~			
Zpětná 95%	$\leq 2 \%$	10 min	0,226%			
<b>THD U</b>			L1	L2	L3	
THD U 95%	$\leq 8\%$	10 min	3,031%	3,040%	3,149%	ANO

Z následujícího grafu je možné vidět průběh flickru  $Plt$  a jak se v závislosti na čase měnil. Většiny špičkových hodnot bylo dosaženo v průběhu dne, zatímco v pozdních hodinách se hodnota snižovala.



Obr. 26: graf vyhovujícího průběhu  $P_{It}$  z FM-VN

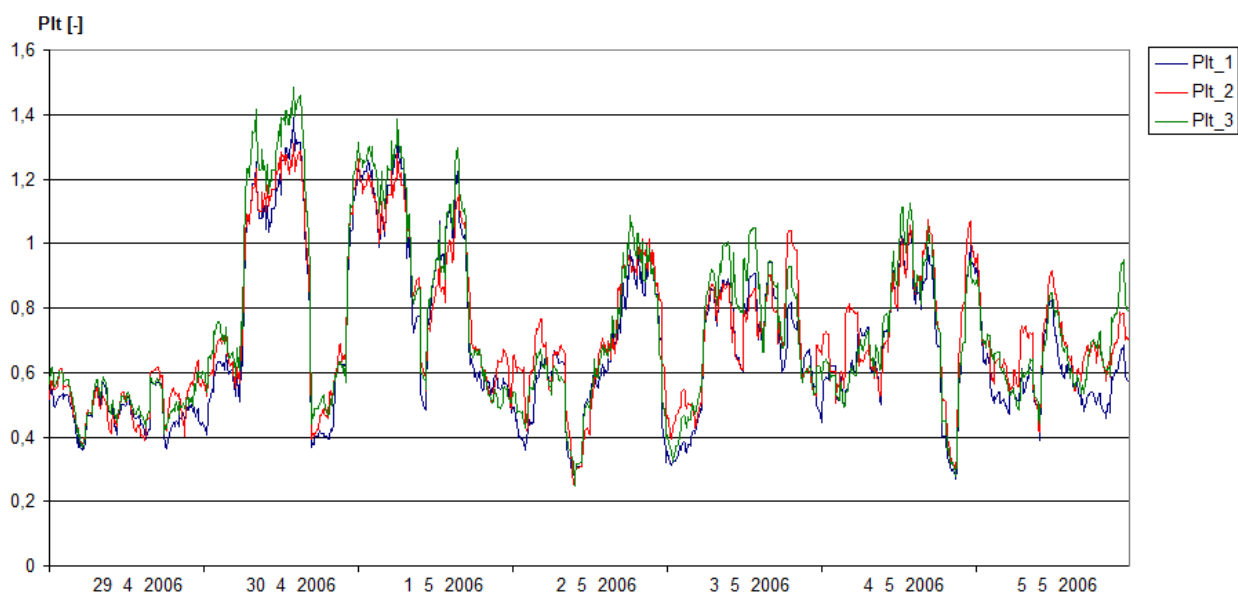
#### 5.1.4 Vyhodnocení dat z místa FM-VVN

Pro období od 28. dubna do 25. května roku 2006, kdy na hladině 66 kV probíhalo měření byla ve všech týdenních obdobích hodnota dlouhodobé míry vjemu flikru  $P_{It}$  nad stanovenou hranicí, což činí dle normy ČSN EN 50160 hodnotu 1. V uvedené periodě měření došlo k 5 výpadkům napětí, které se odehrály v období 9 dní a to od 16. do 24. května.

Tab. 30: Tabulka vyhodnocených nevyhovujících hodnot v místě FM-VVN

Veličina	Limit	Interval	95% hodnota	95% hodnota	95% hodnota	Splňuje?
<b>Celkově</b>						
<b>Napětí (66kV)</b>			L1	L2	L3	
Napětí 95%	90%-110%	10 min	68,476	68,621	68,364	ANO
Napětí 100%	85%-110%	10 min	69,236	69,435	69,226	ANO
<b>Flikr</b>			L1	L2	L3	
$P_{It}$	$\leq 1$	10 min	1,200	1,178	1,277	NE
<b>Nesymetrie U</b>			3 ~			
Zpětná 95%	$\leq 2 \%$	10 min	0,311%			ANO
<b>THD U</b>			L1	L2	L3	
THD U 95%	$\leq 8\%$	10 min	1,018%	0,970%	1,074%	ANO

Nárůst hodnot flikru byl na hladině velmi vysokého napětí vůči napětí vysokému mnohem markantnější, nežli tomu bylo při nárůstu flikru mezi hladinami vysokého a nízkého napětí. Obzvláště je tomu u fáze L2, kde nárůst byl téměř desetinásobný. Tato fáze ale stále zůstala fází s nejnižší hodnotou flikru, zatímco fáze L3 zůstala fází s nejvyšší vypočtenou hodnotou  $P_{It} = 1,27$ .



Obr. 27: graf vyhovujícího průběhu  $Plt$  z FM-VVN

## 5.2 Opava

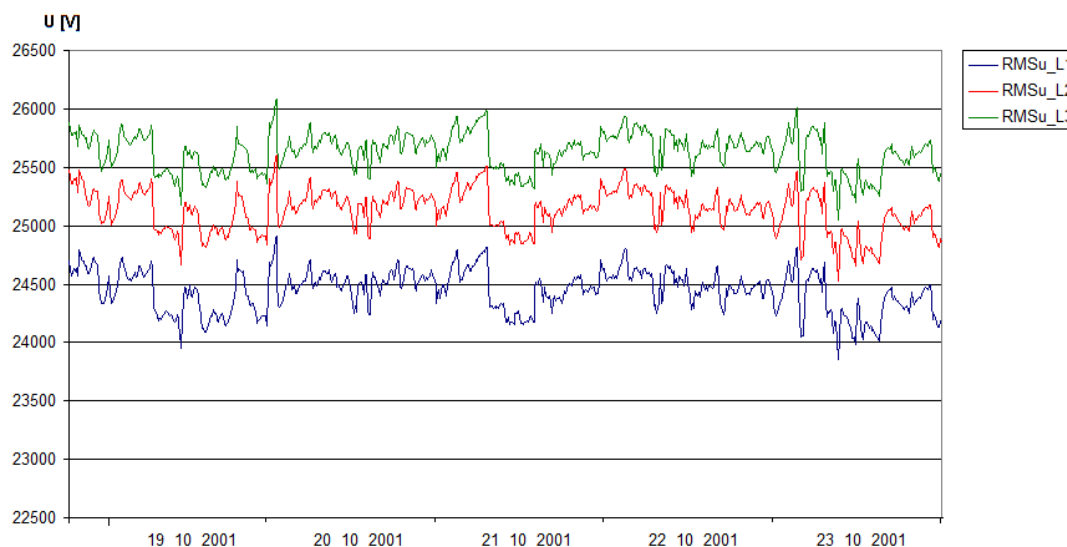
### 5.2.1 Vyhodnocení dat z místa OP-VN-2 za rok 2001

V roce 2001 proběhlo v této aglomeraci pouze krátké měření za účelem zjištění pouze informačních hodnot jednotlivých parametrů. Toto měření proto netrvalo celých 7 dní, jak předepisuje norma, ale pouze 5 dní a 4 hodiny. Z tabulky 32 je vidět překročení ve všech měřených parametrech kromě celkového činitele zkreslení THD. Z vypočtených hodnot je vidět, že v případě dlouhodobé míry vjemu flikru  $P_{lt}$  došlo k velmi výraznému překročení dovolené hodnoty 1 a to nejvíce ve fázi L3. Tato fáze měla také nejhorší hodnotu překročení limitu napětí.

Tab. 31: Tabulka vyhodnocených nevyhovujících hodnot v místě OP-VN-2-2001

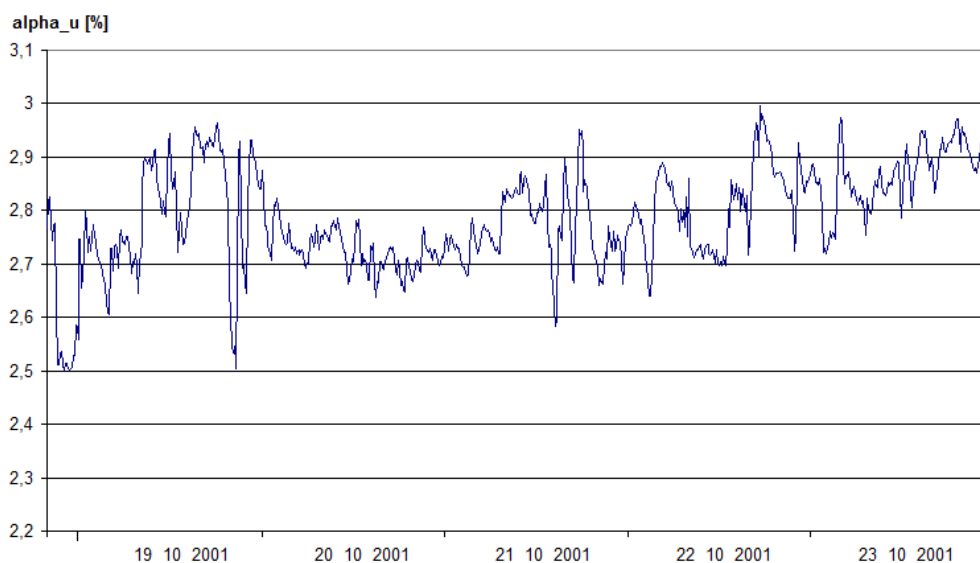
Veličina	Limit	Interval	95% hodnota	95% hodnota	95% hodnota	Splňuje?
<b>Celkově</b>						
<b>Napětí (22kV)</b>			L1	L2	L3	
Napětí 95%	90%-110%	10 min	24,70/112,272%	25,39/115,409%	25,87/117,591%	NE
Napětí 100%	85%-110%	10 min	24,91/113,227%	25,60/116,363%	26,08/118,545%	NE
<b>Flikr</b>			L2	L3	L1	
$Plt$	$\leq 1$	10 min	11,380	11,480	11,900	NE
<b>Nesymetrie U</b>			3 ~			
Zpětná 95%	$\leq 2 \%$	10 min	2,942%			NE
<b>THD U</b>			L2	L3	L1	
THD U 95%	$\leq 8\%$	10 min	2,957%	3,072%	2,703%	ANO

Následující obrázek ukazuje průběhy jednotlivých fází napětí v měřeném období. Je vidět, že fáze L3 má největší amplitudu, což potvrzuje hodnoty z předešlé tabulky. Už i z tohoto grafu je možné vypořizovat velkou nesymetrii, které je mezi jednotlivými fázemi, způsobenou rozdíly ve velikosti amplitud jednotlivých fází. Jednotlivé fáze svými 95% hodnotami překračují dovolenou hodnotu, která pro hladinu 22 kV je 24,2 kV.



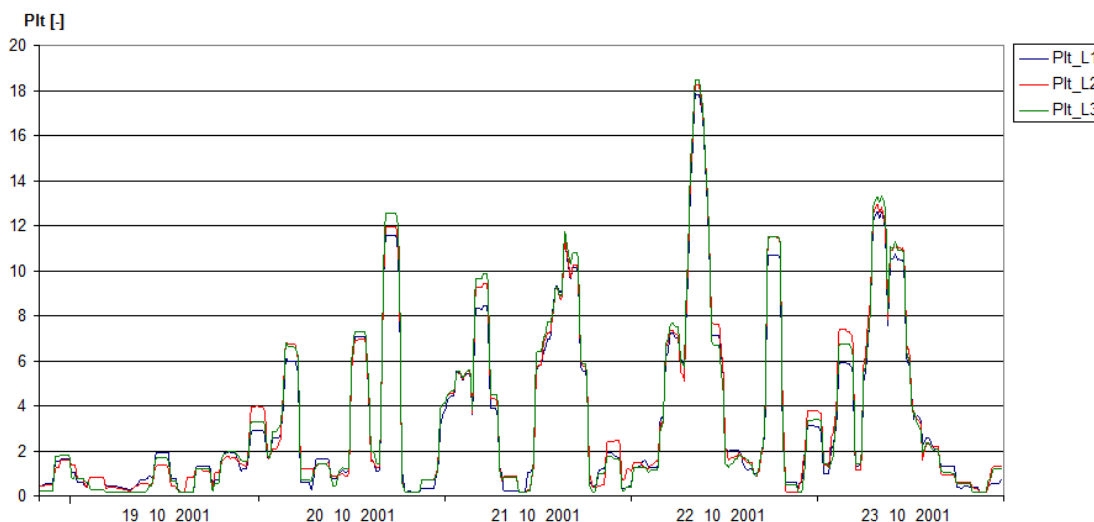
Obr. 28: graf nevyhovujícího průběhu napětí z OP-VN-2-2001

Na následujícím grafu je vyobrazen průběh nesymetrie, jehož vypočtená 95 % hodnota pro měřené období razantně překračuje dovolenou hodnotu 2 %. Průběh grafu v druhé polovině měření průběžně rostl a lze předpokládat, že v následujících dnech hodnota nesymetrie byla velmi špatná. Celkově je průběh nesymetrie v dané lokalitě špatný a mělo by se uvažovat o přeskupení nebo rozložení zatížení tak, aby byl daný systém více symetrický.



Obr. 29: graf nevyhovujícího průběhu nesymetrie z OP-VN-2-2001

Na grafu je vidět že nevyhovující naměřené hodnoty dlouhodobé míry vjemu flikru se projevovaly po celou dobu tohoto informativního měření. Nejvyšších hodnot bylo dosahováno v odpoledních až večerních hodinách a nejnižších hodnot bylo dosaženo obzvláště v dopoledních hodinách 19. října, což odpovídá pátku.



Obr. 30: graf vyhovujícího průběhu Plt z OP-VN-2-2001

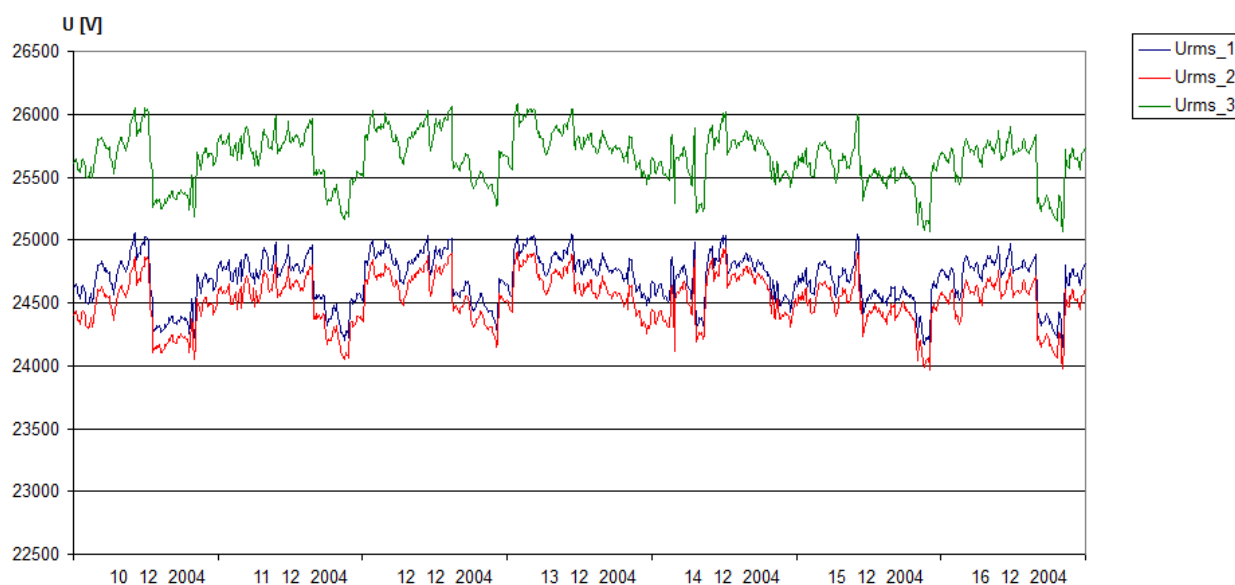
## 5.2.2 Vyhodnocení dat z místa OP-VN-2 za rok 2004

Měřením, které trvalo na této části soustavy po dobu 15 dní a 10 hodin, bylo zjištěno, že hodnoty neodpovídají svým dovoleným hodnotám v ohledu velikosti napětí a nesymetrie napětí. Ostatní měřené parametry byly v pořádku a nejsou kromě uvedených hodnot v tabulce 31 dále uváděny. Oproti hodnotám naměřeným v roce 2001 došlo k lehkému zhoršení v oblasti nesymetrie a velikosti napětí ve fázích L1 a L3. Ve fázi L2 se hodnota napětí snížila, ale i tak překračovala dovolenou hodnotu.

Tab. 32: Tabulka vyhodnocených nevyhovujících hodnot v místě OP-VN-2-2004

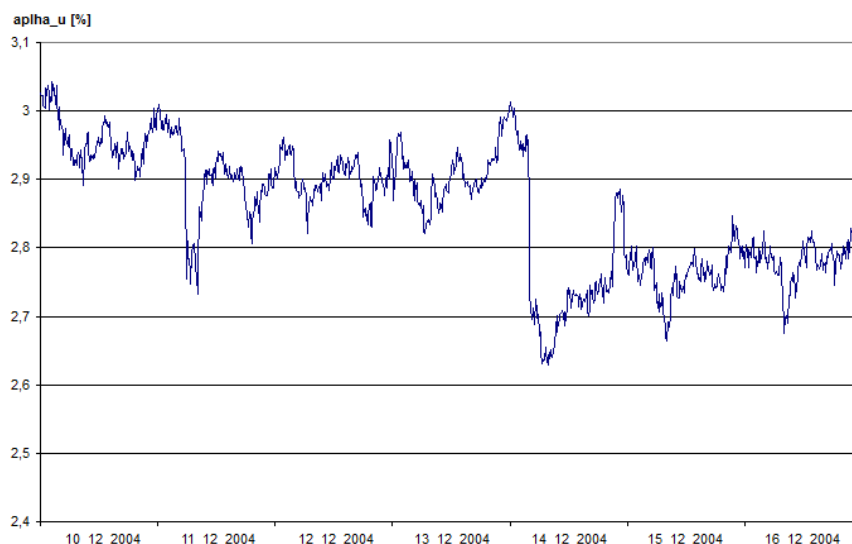
Veličina	Limit	Interval	95% hodnota	95% hodnota	95% hodnota	Splňuje?
<b>Celkově</b>						
<b>Napětí(22 kV)</b>			L1	L2	L3	
Napětí 95%	90%-110%	10 min	24,970/113,5%	24,820/112,818%	25,967/118,032%	NE
Napětí 100%	85%-110%	10 min	25,057/113,895%	24,939/113,359%	26,084/118,563%	NE
<b>Flikr</b>			L2	L3	L1	
Plt	$\leq 1$	10 min	0,223	0,181	0,500	ANO
<b>Nesymetrie U</b>			3 ~			
Zpětná 95%	$\leq 2 \%$	10 min	2,987%			NE
<b>THD U</b>			L2	L3	L1	
THD U 95%	$\leq 8 \%$	10 min	1,290%	1,295%	1,257%	ANO

Vypočtené hodnoty překračují dovolený limit udaný normou o 2,8% v fázi L3, 3,5 procent v 2. fázi a nejhorší je fáze L1 kde došlo k překročení dovolené mezní hodnoty o celých 8%. Tomu odpovídá i graf (obr. 30) zkonstruovaný z naměřených hodnot. Na něm je názorně vidět jak fáze L3 překračuje dovolenou hodnotu 110% hodnoty jmenovitého napětí, což odpovídá 24,2 kV.



Obr. 31: graf nevyhovujícího průběhu napětí z OP-VN-2-2004

Z tohoto grafu lze také vypočítat velkou nesymetrii mezi fázemi dvojicí fází L1 a L2 a fází L3. Tento parametr je dále zobrazen na následujícím grafu, kde je vyobrazen průběh změřené nesymetrie. Ke snížení v průběhu došlo během začátku úterý a tento průběh se následně postupně lehce zvyšoval po celou dobu měření.



Obr. 32: graf nevyhovujícího průběhu nesymetrie z OP-VN-2-2004



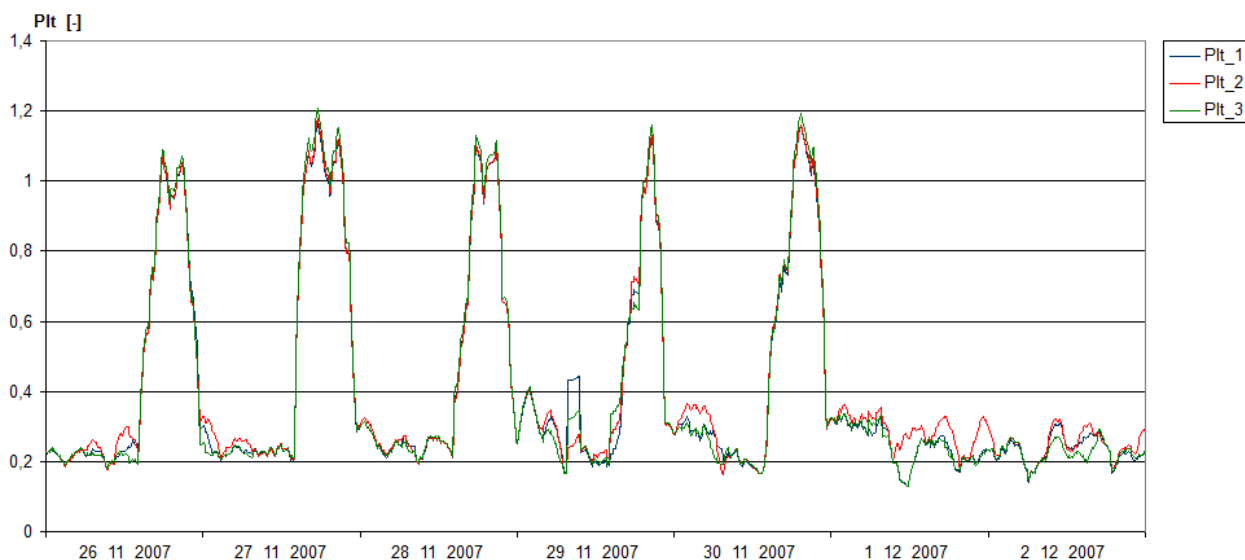
### 5.2.4.1 Vyhodnocení dat z místa OP-VN-1 za rok 2007

V roce 2007 probíhalo na hladině vysokého napětí měření dlouhé 15 dní a 10 hodin. Pro monitorovanou dobu byly pomocí tabulkového procesoru ze změřených hodnot spočteny jednotlivé parametry a ty následně porovnány s dovolenými limity. Po celou dobu měření se dlouhodobá míra vjemu flickru pohybovala lehce nad dovolenou hodnotou zadanou normou. Pro ukázkou je zde uveden týden od 26. listopadu do 2. prosince s vypočtenými hodnotami jednotlivých parametrů.

Tab. 33: Tabulka vyhodnocených nevyhovujících hodnot v místě OP-VN-1-2007

Veličina	Limit	Interval	95% hodnota	95% hodnota	95% hodnota	Splňuje?
<b>Celkově</b>						
Napětí(22 kV)			L1	L2	L3	
Napětí 95%	90%-110%	10 min	23,198	23,113	23,061	ANO
Napětí 100%	85%-110%	10 min	23,292	23,197	23,141	ANO
Flickr			L1	L2	L3	
Plt	$\leq 1$	10 min	1,054	1,058	1,085	NE
Nesymetrie U			3 ~			
Zpětná 95%	$\leq 2 \%$	10 min	0,405%			ANO
THD U			L1	L2	L3	
THD U 95%	$\leq 8\%$	10 min	1,270%	1,368%	1,281%	ANO

K jednotlivým překročením dovolených hodnot docházelo vždy v druhých polovinách pracovních dnů a o víkendu se průběh ustálil na nízké hodnotě. Tento trend pokračoval i v dalším týdnu a z tohoto důvodu jej neuvádím.



Obr. 33: graf nevyhovujícího průběhu Plt z OP-VN-1-2007

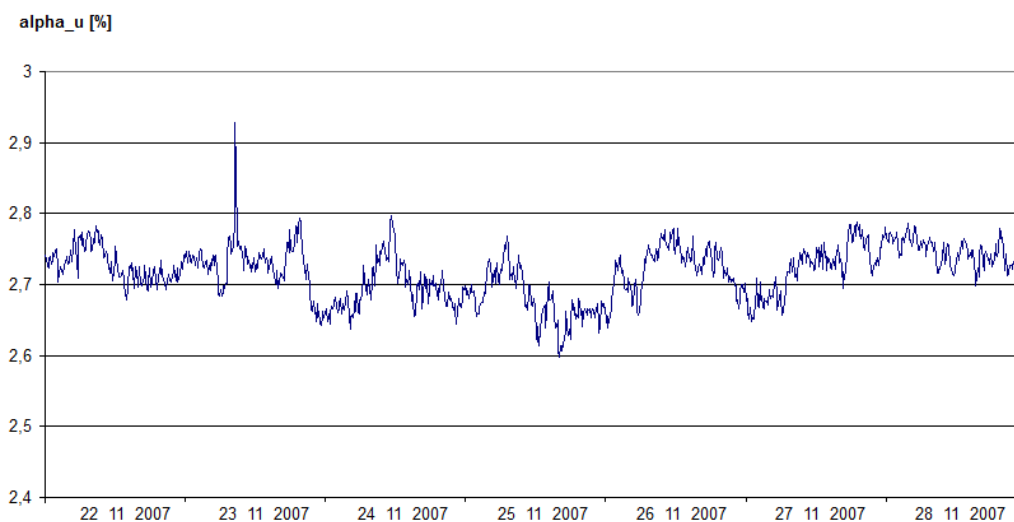
## 5.2.4.2 Vyhodnocení dat z místa OP-VN-2 za rok 2007

Z tabulky vypočtených hodnot je vidět, že na této části vysokého napětí byl problém jak s hodnotou napájecího napětí, jehož 95 % naměřených průměrných efektivních hodnot nesplňovalo normou udaný limit  $\pm 10$  % jmenovitého napětí, tak s nesymetrií. U tohoto parametru platí, že 95% naměřených desetiminutových středních efektivních hodnot zpětné složky napájecího napětí musí být menší nebo rovno 2% sousledné složky. Tyto 2 parametry nesplňovaly zadané limity po celou dobu měření a pro ilustraci jsou zde zkonstruovány grafy pro týden od 22. do 28. listopadu.

Tab. 34: Tabulka vyhodnocených nevyhovujících hodnot v místě OP-VN-2-2007

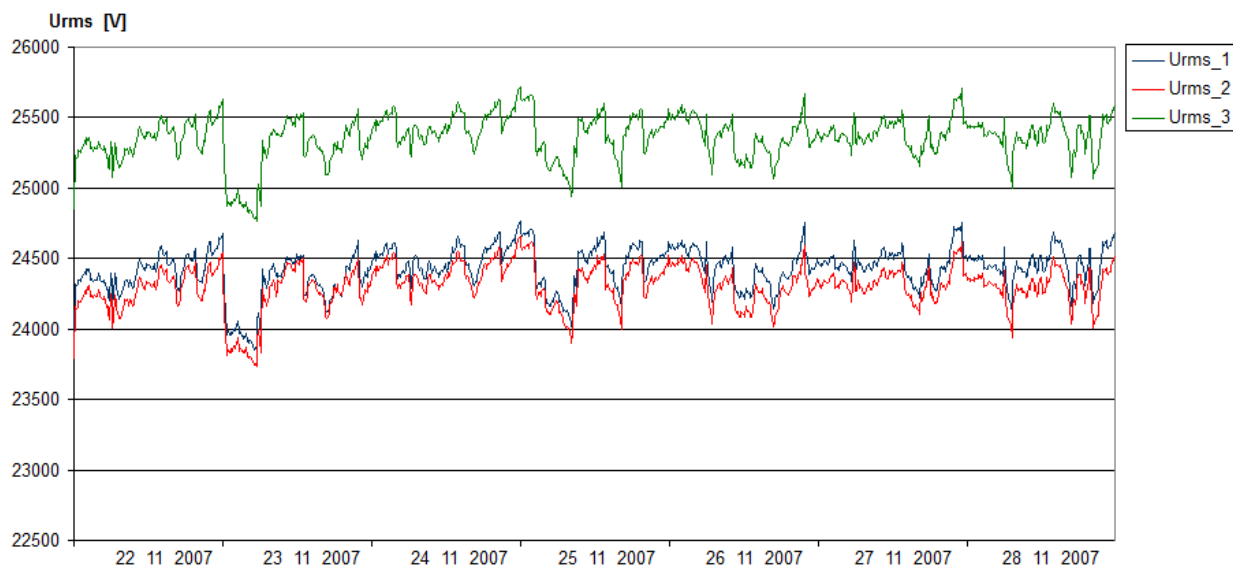
Veličina	Limit	Interval	95% hodnota	95% hodnota	95% hodnota	Splňuje?
<b>Celkově</b>						
<b>Napětí(22 kV)</b>			L1	L2	L3	
Napětí 95%	90%-110%	10 min	24,637/111,986%	24,518/111,445%	25,573/116,24%	NE
Napětí 100%	85%-110%	10 min	24,660	24,763	25,720	NE
<b>Flikr</b>			L2	L3	L1	
Plt	$\leq 1$	10 min	0,349	0,357	0,356	ANO
<b>Nesymetrie U</b>			3 ~			
Zpětná 95%	$\leq 2$ %	10 min	2,772%			NE
<b>THD U</b>			L2	L3	L1	
THD U 95%	$\leq 8$ %	10 min	1,255%	1,283%	1,167%	ANO

Následující graf zobrazuje průběh nesymetrie ve zvoleném týdnu, kde víkend připadá na dny 24. a 25. listopadu. V těchto dnech jsou vidět obě minima průběhu s třetím minimem připadajícím na přelom pondělka a úterý. Oproti hodnotám změřeným v letech 2001 a 2004 se hodnota nesymetrie lehce snížila, ale stále překračovala dovolenou mez a je potřeba provést změny například přeskupením anebo rozložením zátěží tak aby došlo k jejímu omezení.



Obr. 34: graf nevyhovujícího průběhu nesymetrie z OP-VN-2-2007

Na následujícím grafu je zobrazen průběh napětí za dané týdenní období. I zde je vidět velká nesymetrie, která vzniká mezi fázemi L1 a L2, které jsou v tomto ohledu mezi sebou v pořádku, a fází L3, která je oproti nim amplitudově posunuta o 2 kV. Jednotlivé fáze svými 95% hodnotami překračují dovolenou hodnotu, která pro hladinu 22 kV je 24,2 kV. Společně s nesymetrií se oproti roku jak 2001 tak 2004 snížilo lehce i překročení limitů napětí.



Obr. 35: graf nevyhovujícího průběhu nesymetrie z OP-VN-2-2007

## 5.3 Přerov

### 5.3.1 Vyhodnocení dat z místa PR-VN za rok 2008

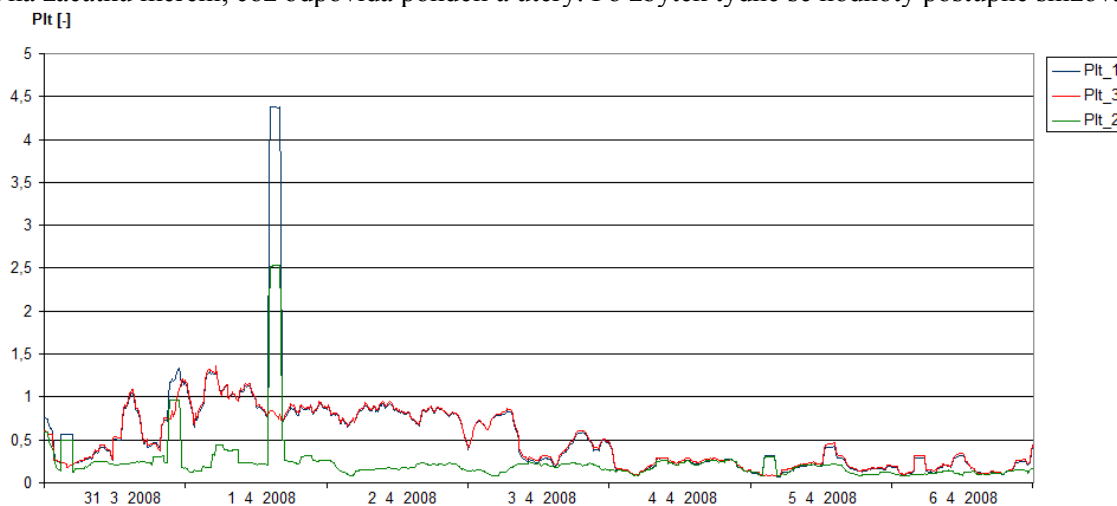
#### 5.3.1.1 Nevyhovující (1)

Měření v této oblasti Přerova trvalo celkem 17 dní a 10 hodin. V týdnu od 31. března do 6. dubna, což odpovídá týdnu od pondělí do neděle, byly zaznamenány nevyhovující hodnoty dlouhodobé míry vjemu flikru a nesymetrie napětí. V oblasti flikru došlo k překročení dovolených hodnot ve fázi L1 a L3. Toto překročení bylo pouze mírné. Fáze L2 byla po dobu měření v pořádku a nedosáhla ani poloviny dovolené hodnoty. Změřené nesymetrie přesáhla hodnotu 2% jen v minimální míře.

Tab. 35: Tabulka vyhodnocených nevyhovujících hodnot v místě PR-VN-2008 (1)

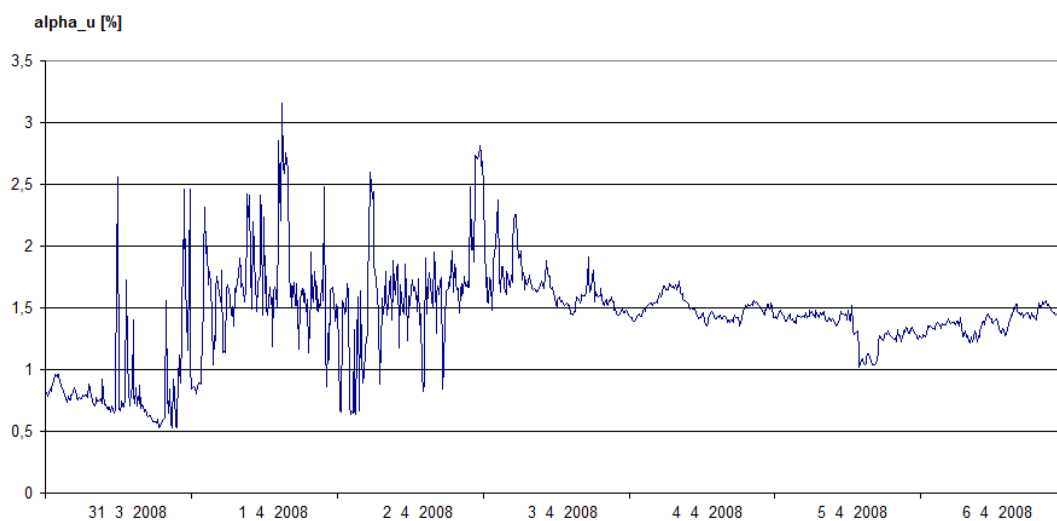
Veličina	Limit	Interval	95% hodnota	95% hodnota	95% hodnota	Splňuje?
<b>Celkově</b>						
<b>Napětí (22 kV)</b>			L1	L2	L3	
Napětí 95%	90 % - 110 %	10 min	20,727	20,293	20,418	ANO
Napětí 100%	85 % - 110 %	10 min	21,115	20,428	0,876	ANO
<b>Flikr</b>			L1	L2	L3	
Plt	$\leq 1$	10 min	1,125	0,440	1,045	NE
<b>Nesymetrie U</b>			3 ~			
Zpětná 95%	$\leq 2 \%$	10 min	2,003%			NE
<b>THD U</b>			L1	L2	L3	
THD U 95%	$\leq 8\%$	10 min	1,357%	1,463%	1,625%	ANO

Na grafu je vidět že nevyhovující naměřené hodnoty dlouhodobé míry vjemu flikru se projeví jen na začátku měření, což odpovídá pondělí a úterý. Po zbytek týdne se hodnoty postupně snižovaly.



Obr. 36: graf nevyhovujícího průběhu Plt z PR-VN-2008(1)

Na následujícím grafu je vyobrazený průběh nesymetrie za daný týden. Pro první polovinu pondělí se graf držel v nízkých hodnotách a později se držel ve vysokých až nedovolených hodnotách do čtvrtého poledne. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v nočních hodinách v rozmezí pondělí až středa.



Obr. 37: graf nevyhovujícího průběhu nesymetrie z PR-VN-2008(1)

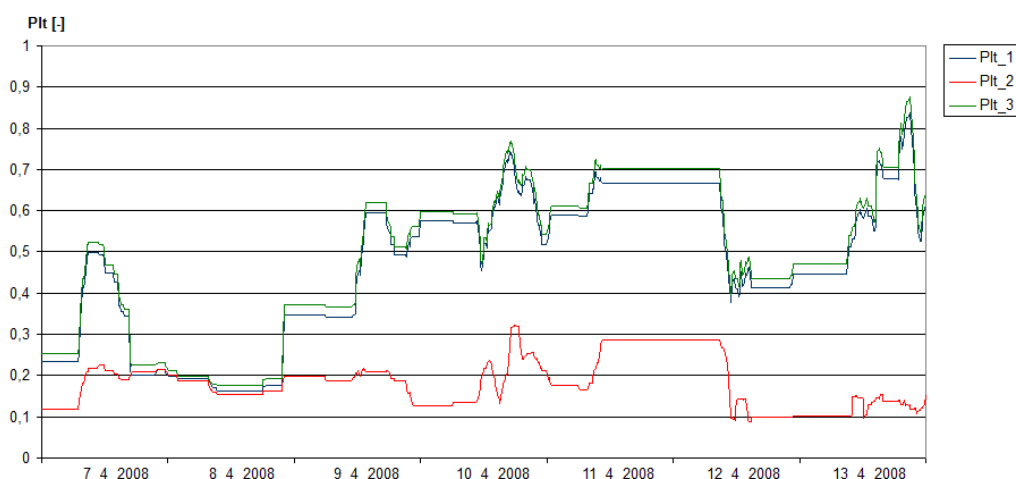
### 5.3.1.2 Nevyhovující (2)

Pro další týden od 7. do 13. dubna platí následující tabulka. Je vidět, že se flickr  $P_{lt}$  v tomto týdnu pohyboval v dovozených hodnotách ve všech třech fázích. Oproti minulému týdnu klesly hodnoty v jednotlivých fázích o značnou míru, ale hodnota zpětné nesymetrie se nepatrně zhoršila.

Tab. 36: Tabulka vyhodnocených nevyhovujících hodnot v místě PR-VN-2008 (2)

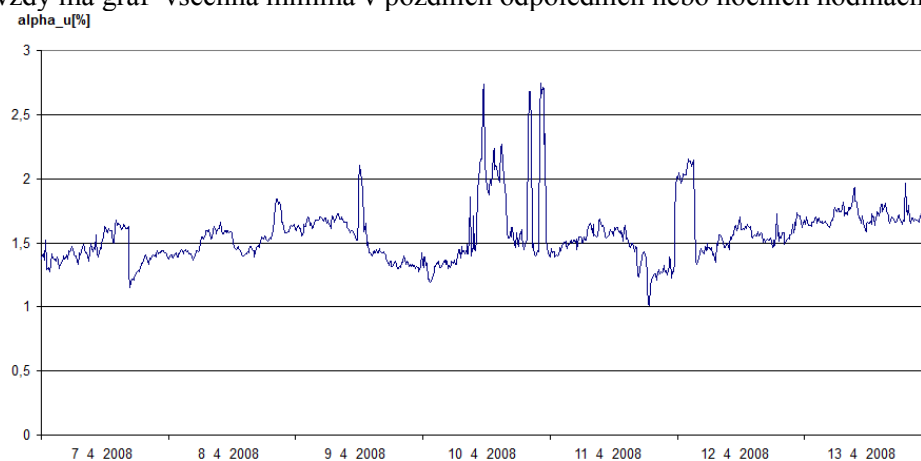
Veličina	Limit	Interval	95% hodnota	95% hodnota	95% hodnota	Splňuje?
<b>Celkově</b>						
<b>Napětí(22 kV)</b>			L1	L2	L3	
Napětí 95%	90%-110%	10 min	20,777	20,345	20,262	ANO
Napětí 100%	85%-110%	10 min	21,077	20,474	20,588	ANO
<b>Flickr</b>			L1	L2	L3	
$P_{lt}$	$\leq 1$	10 min	0,677	0,288	0,705	ANO
<b>Nesymetrie U</b>			3 ~			
Zpětná 95%	$\leq 2 \%$	10 min	2,005%			NE
<b>THD U</b>			L1	L2	L3	
THD U 95%	$\leq 8\%$	10 min	1,543%	1,497%	1,605%	ANO

Na následujícím grafu je zobrazen průběh hodnoty flickru za tento týden. Je vidět, že fáze L1 a L3 mají téměř stejný průběh s minimálním rozdílem v amplitudě kdežto fáze L2 je naproti nim průběhově v určitých částech rozdílná. Oproti pondělí kde jsou hodnoty minimální, se v neděli začal průběh ve fázích L1 a L3 opět přibližovat hodnotě 1 a pokud by byl proměřen i další týden, je možné že by opět došlo k překročení dovoleného týdenního limitu.



Obr. 38: graf vyhovujícího průběhu  $P_{It}$  z PR-VN-2008 (2)

Nesymetrie v tomto případě překračuje svou dovolenou hodnotu, i když jsou amplitudy jednotlivých fází velmi podobné a je tedy překročení tohoto parametru způsobeno fázovým posuvem fází. Jako vždy má graf všechna minima v pozdních odpoledních nebo nočních hodinách.



Obr. 39: graf nevyhovujícího průběhu nesymetrie z PR-VN-2008 (2)

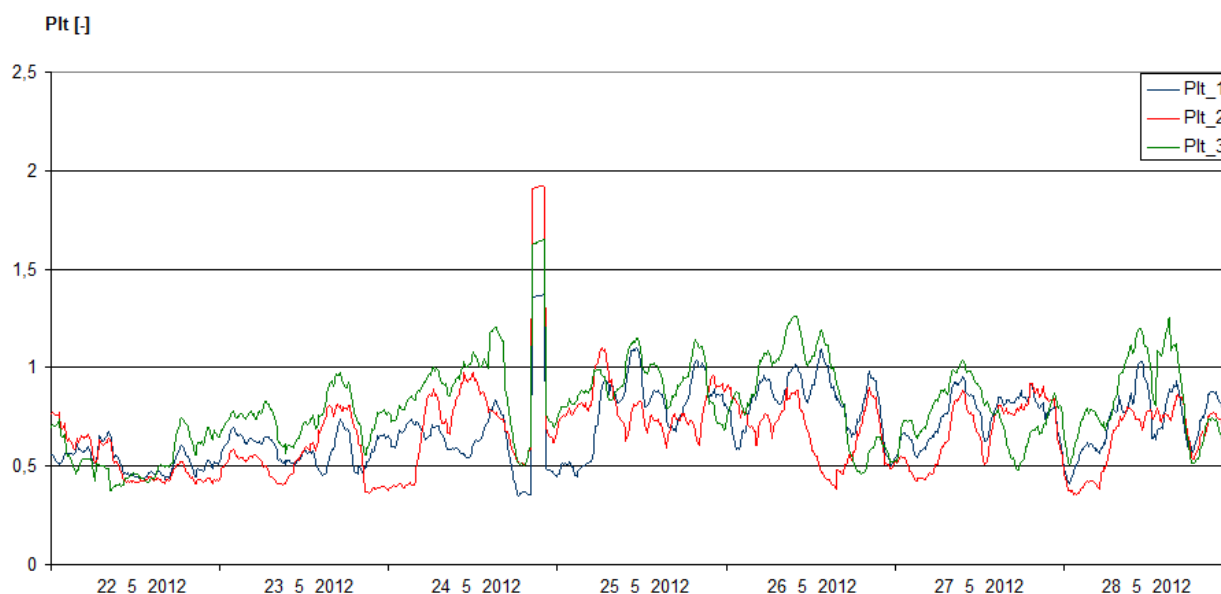
### 5.3.2 Vyhodnocení dat z místa PR-VN za rok 2012

V roce 2012 proběhlo ve stejné lokalitě další měření trvající necelých 14 dní. Po celou dobu měření jednotlivých parametrů bylo registrováno překročení limitů ve stejných parametrech jako tomu bylo v roce 2008, tedy flickr  $P_{It}$  a nesymetrie. Na překročení dovolených mezí flickru se opět podílely pouze fáze L1 a L3 a fáze L2 zůstala, jako tomu bylo v minulém měření, v dovolených hodnotách.

Tab. 37: Tabulka vyhodnocených nevyhovujících hodnot v místě PR-VN-2012

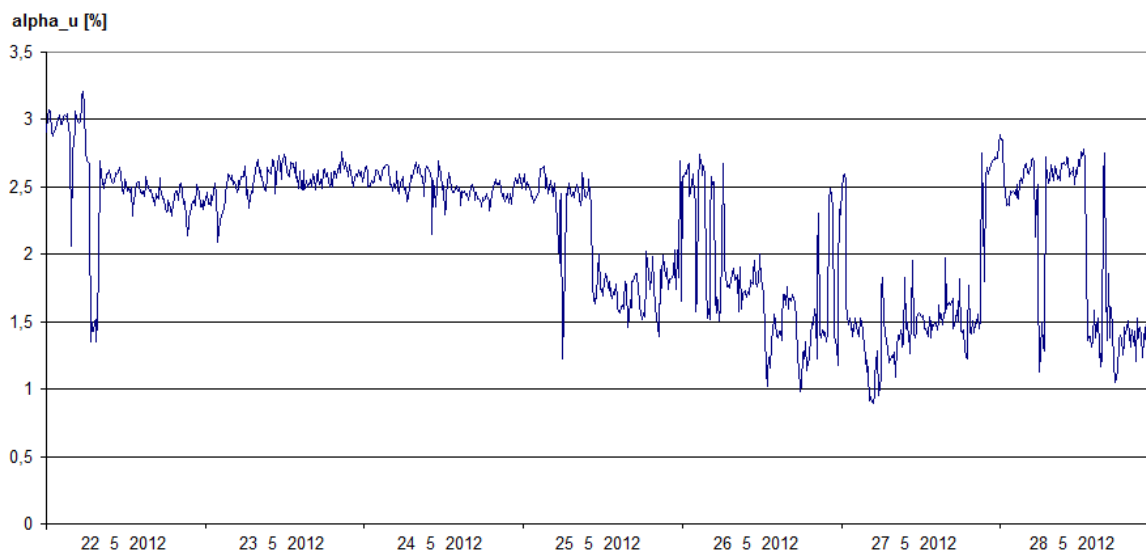
Veličina	Limit	Interval	95% hodnota	95% hodnota	95% hodnota	Splňuje?
<b>Celkově</b>						
<b>Napětí(22 kV)</b>			L1	L2	L3	
Napětí 95%	90%-110%	10 min	21,767	21,454	20,981	ANO
Napětí 100%	85%-110%	10 min	22,015	21,613	21,184	ANO
<b>Flikr</b>			L1	L2	L3	
Plt	$\leq 1$	10 min	1,002	0,918	1,160	NE
<b>Nesymetrie U</b>			3 ~			
Zpětná 95%	$\leq 2 \%$	10 min	2,720%			NE
<b>THD U</b>			L1	L2	L3	
THD U 95%	$\leq 8\%$	10 min	1,027%	1,018%	1,108%	ANO

Ve srovnání s rokem 2008 docházelo k překročení hodnoty 1 v obou fázích mnohem častěji, i když s menšími maximálními hodnotami. Také nedošlo k ustálení průběhu na nízkých hodnotách, ale velká většina získaných hodnot se pohybuje v rozmezí 0,6 až 0,9.



Obr. 40: graf nevyhovujícího průběhu  $P_{lt}$  z PR-VN-2012

Nesymetrie se v roce 2012 výrazně zvětšila a přispěly k tomu hlavně hodnoty naměřené v průběhu pracovních dní tedy od 22. do 24. a 28. května. O víkendu se projevil očekávaný pokles, který je ovšem doprovázen neočekávaným zvětšením nesymetrie v průběhu noci z pátku 25.5 na sobotu 26.5 a ze soboty na neděli 27. května.



Obr. 41: graf nevyhovujícího průběhu nesymetrie z PR-VN-2012

## 5.4 Ostrava

### 5.4.1 Vyhodnocení dat z místa OS-NN za rok 1999

V roce 1999 bylo provedeno měření na hladině nízkého napětí od 16. do 24. listopadu. Pro vyhodnocení jsem si vybral období od 17. do 23. listopadu, kde vypočtené výsledky jsou uvedeny v následující tabulce. Po porovnání s dovolenými mezemi je vidět velké překročení v parametrech dlouhodobé míry vjemu flikru  $P_{lt}$  a celkovém harmonickém zkreslení napětí THDu. Ostatní parametry jsou v dovolených limitech a nejsou proto dále rozebírány.

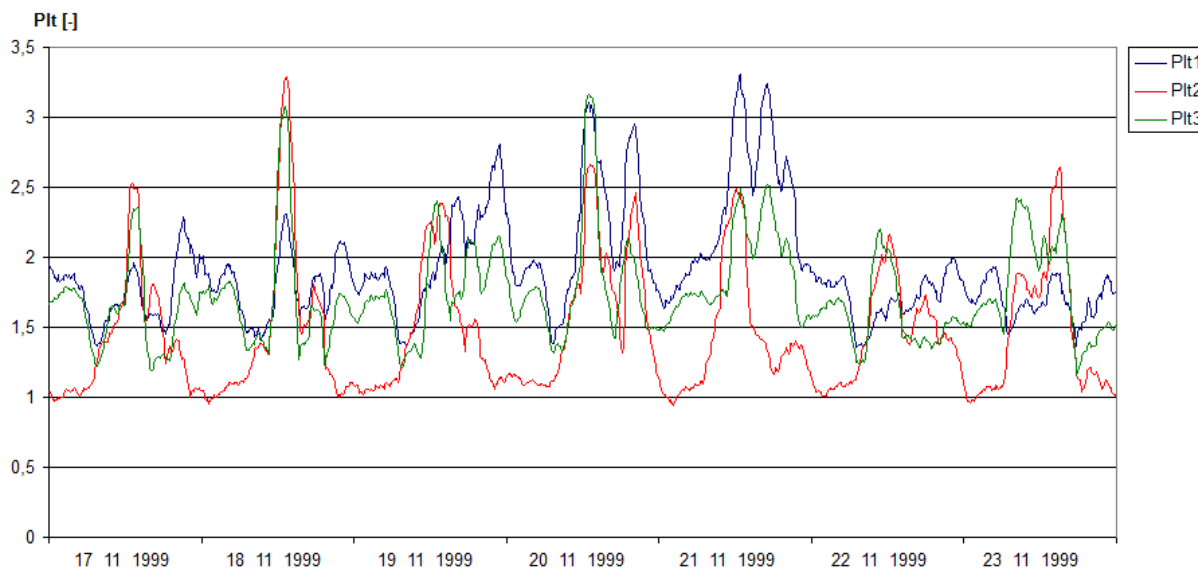
Tab. 38: Tabulka vyhodnocených nevyhovujících hodnot v místě OS-NN-1999

Veličina	Limit	Interval	95% hodnota	95% hodnota	95% hodnota	Splňuje?
<b>Celkově</b>						
<b>Napětí (230V)</b>			L1	L2	L3	
Napětí 95%	90%-110%	10 min	233,910	247,940	249,780	ANO
Napětí 100%	85%-110%	10 min	241,960	254,840	258,750	ANO
<b>Flikr</b>			L1	L2	L3	
$P_{lt}$	$\leq 1$	10 min	2,805	2,455	2,387	NE
<b>Nesymetrie U</b>			3 ~			
Zpětná 95%	$\leq 2 \%$	10 min	0,800			ANO
<b>THD U</b>			L1	L2	L3	
THD U 95%	$\leq 8\%$	10 min	11,700	11,200	10,900	NE

Pro vybraný týden je zde sestaven graf všech tří fází dlouhodobé míry vjemu flikru  $P_{lt}$ . Všechny fáze jsou po celý časový úsek kromě tří případů pro fázi L2 nad dovolenou hranicí 1. K největším překročením došlo ve dnech 20. a 21. listopadu, což připadá na sobotu a neděli a to v

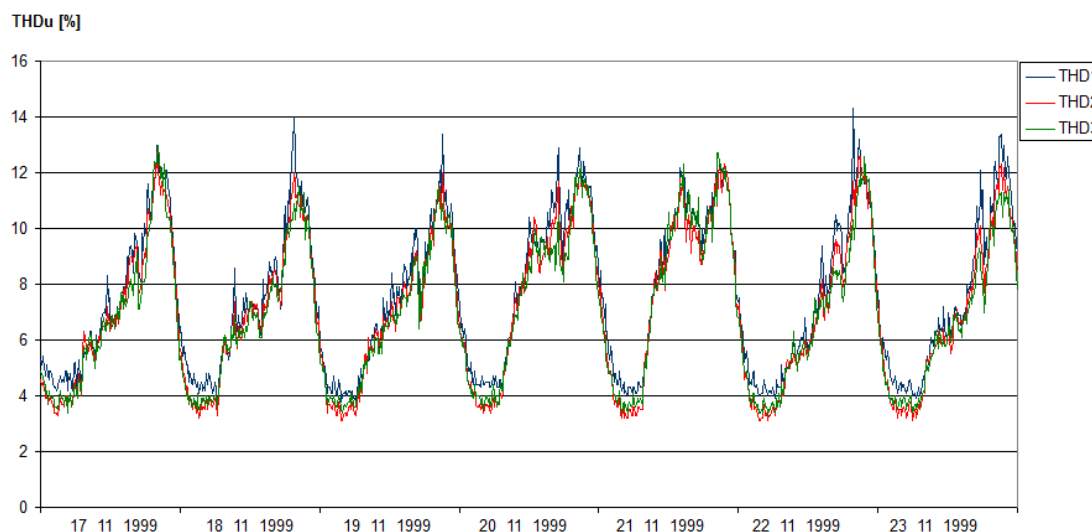


odpoledních hodinách. Naopak nejmírnější hodnoty byly naměřeny v pondělí. Nejnižší vypočtená hodnota odpovídá zelenému průběhu fáze L3 a fáze s největším překročením limitu je fáze L1, která je na grafu znázorněna modře.



Obr. 42: graf nevyhovujícího průběhu flikru  $P_{lt}$  z OS-NN-1999

Průběh celkového činitele zkreslení napětí THDu měl pro většinu dní podobný průběh. Pro víkend 20. a 21. listopadu došlo k nárůstu a překročení dovolené meze THDu 8%, zadané normou ČSN EN 50 160, mnohem razantněji v poledních hodinách. V ostatních dnech tomu bylo až v odpoledních nebo večerních hodinách. Nejvyšší hodnoty činitele THDu bylo dosaženo v pondělí a nejnižších hodnot o víkendu.



Obr. 43: graf nevyhovujícího průběhu THDu z OS-NN-1999

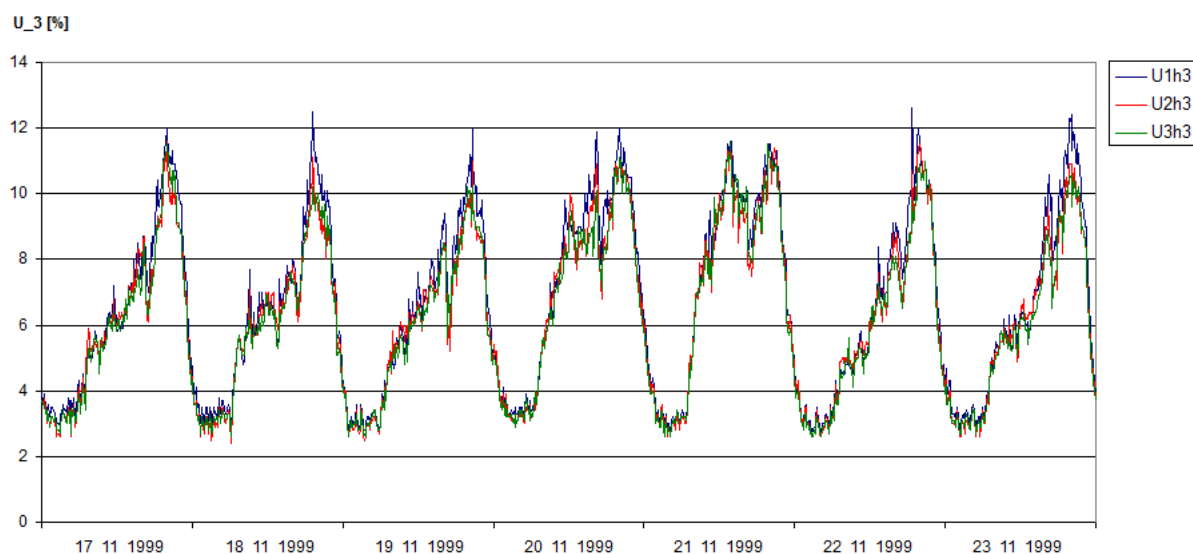
Příčinou velkého překročení dovolené hodnoty činitele THDu, která činí 8%, je 3. harmonická. Její hodnota, jakožto i ostatní harmonické, je uvedena v následující tabulce společně s dovolenými limity jednotlivých řádů. Dovolенou hodnotu překročila více jak dvojnásobně s nejhorší hodnotou naměřenou ve fázi L1. Hodnoty ostatních harmonických se pohybovaly v dovolených

mezích, za zmínku stojí pouze 9. harmonická, která se přiblížila své dovolené hranici a to hlavně ve fázi L1.

*Tab. 39: Tabulka jednotlivých harmonických v místě OS-NN-1999*

Řád vyšší harmonické	Dovolené harmonické napětí Uh	změřené harmonické napětí 1. fáze	změřené harmonické napětí 2. fáze	změřené harmonické napětí 3. fáze	Splňuje?
2	2%	0,3 %	0,3 %	0,3 %	ANO
3	5%	11,0 %	10,5 %	10,4 %	NE
4	1%	0,2 %	0,2 %	0,2 %	ANO
5	6%	4,2 %	5,1 %	4,7 %	ANO
6	0,5%	0,2 %	0,1 %	0,2 %	ANO
7	5%	2,9 %	1,5 %	2,1 %	ANO
8	0,5%	0,1 %	0,1 %	0,2 %	ANO
9	1,5%	1,2 %	1,1 %	1,1 %	ANO
10	0,5%	0,1 %	0,1 %	0,1 %	ANO
11	3,5%	0,8 %	0,3 %	0,5 %	ANO
12	0,5%	0,1 %	0,1 %	0,1 %	ANO
13	3%	0,4 %	0,3 %	0,5 %	ANO
14	0,5%	0 %	0 %	0,1 %	ANO
15	0,5%	0,3 %	0,2 %	0,3 %	ANO
16	0,5%	0 %	0 %	0 %	ANO
17	2%	0,1 %	0,1 %	0,2 %	ANO
18	0,5%	0 %	0 %	0 %	ANO
19	1,5%	0 %	0,1 %	0,1 %	ANO
20	0,5%	0 %	0 %	0 %	ANO
21	0,5%	0,1 %	0,1 %	0,1 %	ANO
22	0,5%	0 %	0 %	0 %	ANO
23	1,5%	0,1 %	0 %	0 %	ANO
24	0,5%	0 %	0 %	0 %	ANO
25	1,5%	0 %	0 %	0 %	ANO

Na následujícím grafu je vyobrazen průběh 3. harmonické. Při porovnání s průběhem celkového činitele zkreslení napětí THDu je patrné, že jsou oba průběhy téměř identické a 3. harmonická způsobuje nevyhovující hodnoty činitele THDu.



Obr. 44: graf nevyhovujícího průběhu 3. harmonické z OS-NN-1999

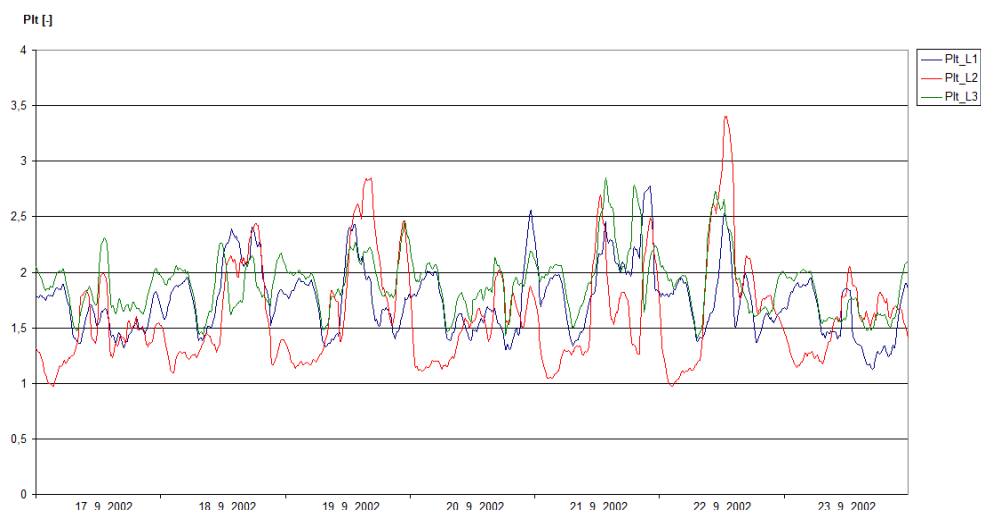
### 5.4.1 Vyhodnocení dat z místa OS-NN za rok 2002

Pro oblast Ostravy bylo v roce 2002 provedeno měření parametrů kvality elektrické energie. Toto měření bylo provedeno v období od 16. do 25. září. Z tabulky, která ukazuje vyhodnocená kritéria, je možné vidět velké překročení limitů dlouhodobé míry vjemu flikru  $P_{lt}$  a celkového činitele harmonického zkreslení THDu. Pro zhodnocení parametrů byl vybrán týden od 17. do 23. září.

Tab. 40: Tabulka vyhodnocených nevyhovujících hodnot v místě OS-NN-2002

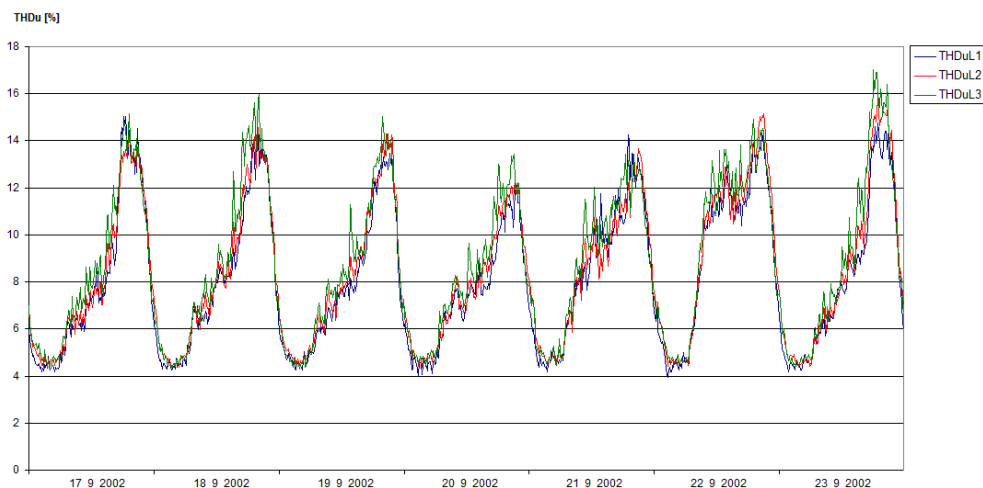
Veličina	Limit	Interval	95% hodnota	95% hodnota	95% hodnota	Splňuje?
<b>Celkově</b>						
<b>Napětí (230V)</b>			L1	L2	L3	
Napětí 95%	90%-110%	10 min	246,1	247,2	233,1	ANO
Napětí 100%	85%-110%	10 min	254,3	256,8	244,7	ANO
<b>Flikr</b>			L1	L2	L3	
$P_{lt}$	$\leq 1$	10 min	2,345	2,552	2,466	NE
<b>Nesymetrie U</b>			3 ~			
Zpětná 95%	$\leq 2 \%$	10 min	0,730%			ANO
<b>THD U</b>			L1	L2	L3	
THD U 95%	$\leq 8 \%$	10 min	13,51%	13,89%	14,32%	NE

Na následujícím gradu je vidět průběh dlouhodobé míry vjemu flikru  $P_{lt}$  pro zadaný týden. Je patrné, že fáze L2 je v porovnání s ostatními nejhorší, což potvrzuje vypočtená hodnota uvedená v předešlé tabulce. Celkově se průběh pohyboval kromě 2 případů nad dovolenou hodnotou 1. Průběh měl tuto tendenci po celou dobu měření. Nejhorší naměřené hodnoty odpovídají sobotě 21. a neděli 22. září, konkrétně odpoledním hodinám.



Obr. 45: graf nevyhovujícího průběhu  $P_{lt}$  z OS-NN-2002

Graf činitele THDu měl po celou dobu měření, tedy od 16. do 25. září stejný charakter, jaký je zobrazený na dalším grafu. Jediná změna byla v různých maximálních hodnotách činitele THDu pro jednotlivé fáze. Největší hodnoty bylo celkově dosaženo v pondělí 23. září ve večerních hodinách. Ostatní pracovní dny měly v tomto ohledu naměřeny mírnější hodnoty s pátkem jakožto dnem s nejnižší hodnotou. Víkend měl oproti pracovním dnům strmější nárůst v ranních a dopoledních hodinách, což mohlo být zapříčiněno domácími zařízeními, jako jsou například počítače, které mají velkou 3. harmonickou, ale oproti pracovním dnům kromě pátku mají nejmenší maximální hodnoty.



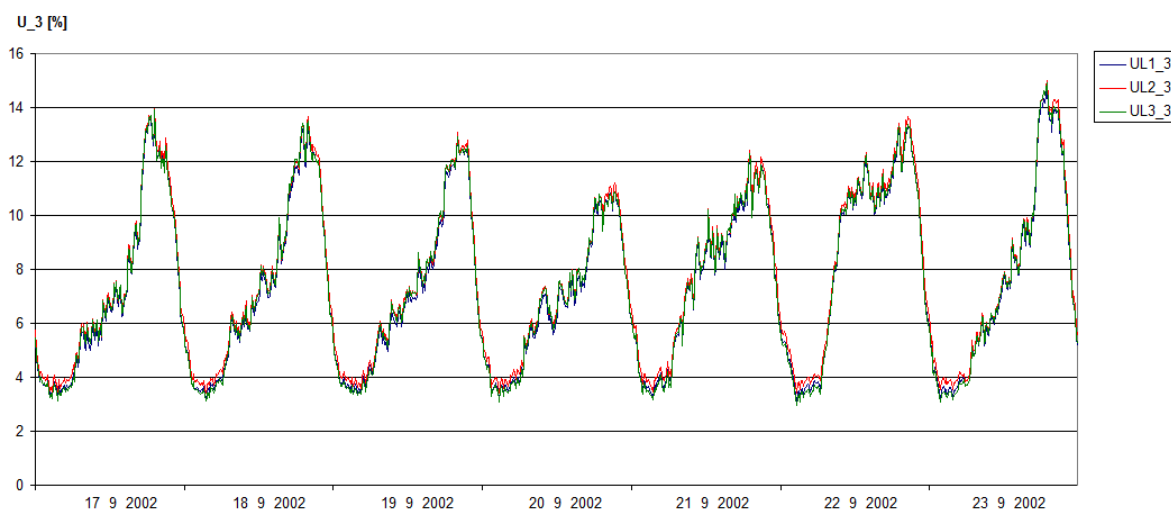
Obr. 46: graf nevyhovujícího průběhu THDu z OS-NN-2002

Ze změřených hodnot jednotlivých harmonických byla vytvořena tato tabulka, která ukazuje které vyšší harmonické se na velmi špatné hodnotě činitele THDu podílely. Je vidět, že dovolené hodnoty překročili pouze 3. a 9. harmonická. Při porovnání dovolených hodnot těchto dvou vyšších harmonických je vidět, že 3. harmonická byla většinovým původcem více než dvou a půl násobným překročením povolené horní meze.

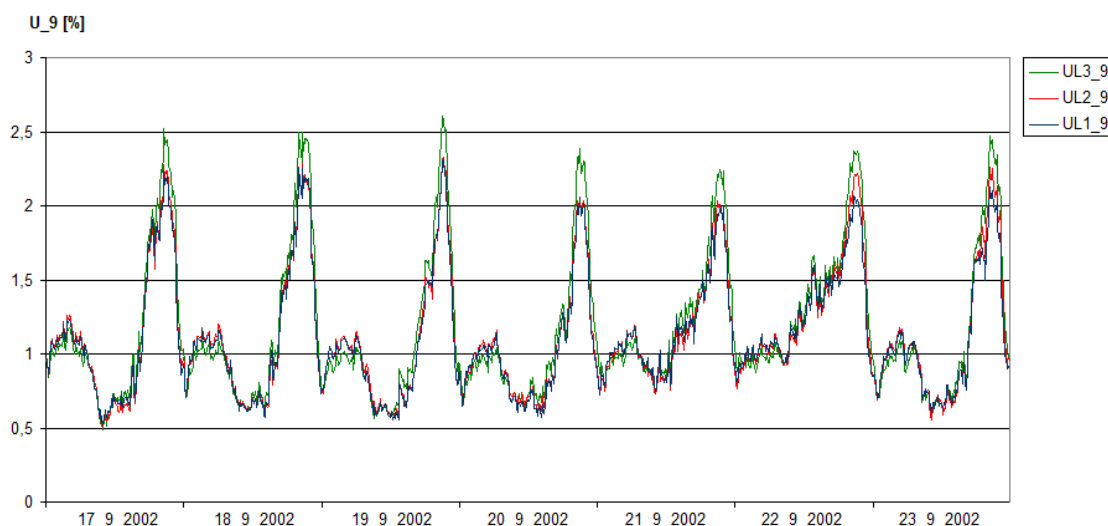
Tab. 41: Tabulka jednotlivých harmonických v místě OS-NN-2002

Řád vyšší harmonické	Dovolené harmonické napětí Uh	změřené harmonické napětí 1. fáze	změřené harmonické napětí 2. fáze	změřené harmonické napětí 3. fáze	Splňuje?
2	2%	0,210 %	0,220 %	0,214 %	ANO
3	5%	12,686 %	12,982 %	12,839 %	NE
4	1%	0,138 %	0,148 %	0,143 %	ANO
5	6%	5,165 %	5,634 %	4,682 %	ANO
6	0,5%	0,076 %	0,087 %	0,082 %	ANO
7	5%	1,920 %	1,255 %	1,864 %	ANO
8	0,5%	0,051 %	0,054 %	0,054 %	ANO
9	1,5%	1,979 %	2,047 %	2,276 %	NE
10	0,5%	0,031 %	0,030 %	0,031 %	ANO
11	3,5%	0,703 %	0,517 %	0,777 %	ANO
12	0,5%	0,023 %	0,021 %	0,022 %	ANO
13	3%	0,401 %	0,358 %	0,352 %	ANO
14	0,5%	0,016 %	0,017 %	0,016 %	ANO
15	0,5%	0,318 %	0,298 %	0,318 %	ANO
16	0,5%	0,014 %	0,012 %	0,014 %	ANO
17	2%	0,119 %	0,161 %	0,195 %	ANO
18	0,5%	0,011 %	0,010 %	0,009 %	ANO
19	1,5%	0,125 %	0,172 %	0,108 %	ANO
20	0,5%	0,007 %	0,009 %	0,008 %	ANO
21	0,5%	0,145 %	0,128 %	0,134 %	ANO
22	0,5%	0,007 %	0,008 %	0,007 %	ANO
23	1,5%	0,060 %	0,089 %	0,100 %	ANO
24	0,5%	0,005 %	0,005 %	0,006 %	ANO
25	1,5%	0,048 %	0,073 %	0,072 %	ANO

Pro přehled jsou dále uvedeny grafy obou vyšších harmonických, kde je možné vidět, jak překračují své dovolené meze ve stejných časových úsecích jako tomu je na grafu celkové činitele harmonického zkreslení napětí THDu.



Obr. 47: graf nevyhovujícího průběhu 3. harmonické z OS-NN-2002



Obr. 48: graf nevyhovujícího průběhu 9. harmonické z OS-NN-2002

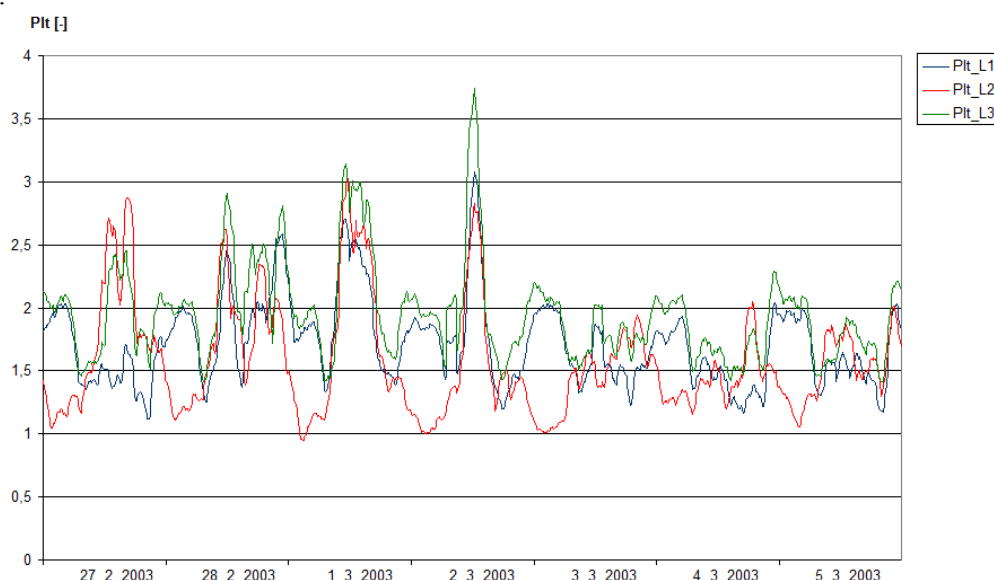
## 5.4.2 Vyhodnocení dat z místa OS-NN za rok 2003

Měření v této lokalitě na hladině nízkého napětí, které trvalo od 26. února do 21. března, odhalilo velké nedostatky ve směru dodržování limitů kvality elektrické energie zadané normou ČSN EN 50160. Po celou dobu měření se projevovalo překročení limitu flikru  $P_{fl}$  a celkového činitele harmonického zkreslení THD. Toto překročení bylo pro činitel THD téměř dvojnásobné než je povolená hodnota a více jako dvojnásobné pro limit flikru. Jako příklad jsou zde uvedeny naměřené a vypočtené hodnoty pro týden od 27. února do 5. března. Při srovnání hodnot s rokem 2002 je vidět zhoršení v obou parametrech kde ve fázi L3 došlo k velkému zhoršení parametru  $P_{fl}$ . Ve směru činitele zkreslení THDu se všechny fáze zhoršily takřka stejně.

Tab. 42: Tabulka vyhodnocených nevyhovujících hodnot v místě OS-NN-2003

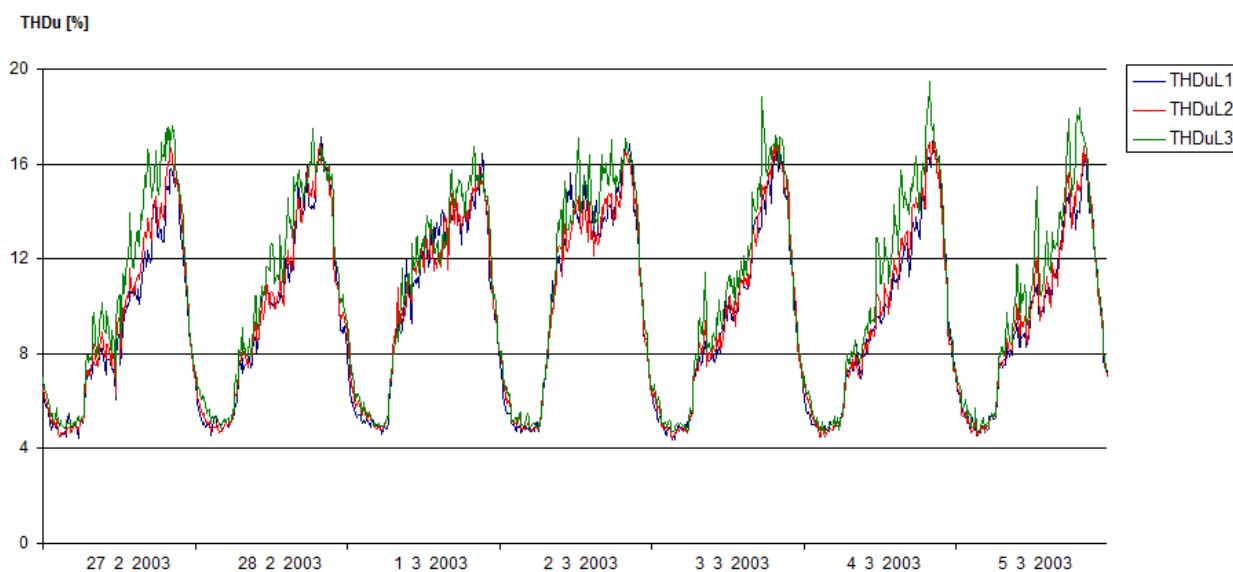
Veličina	Limit	Interval	95% hodnota	95% hodnota	95% hodnota	Splňuje?
<b>Celkově</b>						
<b>Napětí (230V)</b>			<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	
Napětí 95%	90%-110%	10 min	246,700	245,700	231,200	ANO
Napětí 100%	85%-110%	10 min	254,500	253,900	244,900	ANO
<b>Flikr</b>			<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	
Plt	$\leq 1$	10 min	2,463	2,598	2,803	NE
<b>Nesymetrie U</b>			<b>3 ~</b>			
Zpětná 95%	$\leq 2 \%$	10 min	0,787%			ANO
<b>THD U</b>			<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	
THD U 95%	$\leq 8\%$	10 min	15,790%	15,840%	16,710%	NE

Pro vybraný týden je průběh dlouhodobé míry vjemu flikru  $P_{lt}$  zobrazen na následujícím grafu. Je vidět, že po téměř celou dobu se průběh nedostal pod hodnotu 1 a tento trend pokračoval po celou dobu měření v dané oblasti. Jako nejhorší se projevila třetí fáze a to jak v tomto týdnu tak po celou dobu měření. Jako pro rok 2002 tak i zde se nejhorší změřené hodnoty flikru vyskytují o víkendu.



Obr. 49: graf nevyhovujícího průběhu  $P_{lt}$  z OS-NN-2003

Pro celkový činitel harmonického zkreslení napětí platí následující graf. Hodnoty jsou téměř totožné jak pro víkend, což odpovídá 1. a 2. březnu, tak pro pracovní dny. Jediný patrný rozdíl mezi víkendem a pracovními dny je vidět ve zvýšených hodnotách THDu během víkendu. To bylo s největší pravděpodobností způsobeno velkým počtem zapnutých domácích prostředků, jako je televize a počítače. Stejná situace se objevila i ve večerních hodinách během pracovních dní.



*Obr. 50: graf nevyhovujícího průběhu činitele THD z OS-NN-2003*

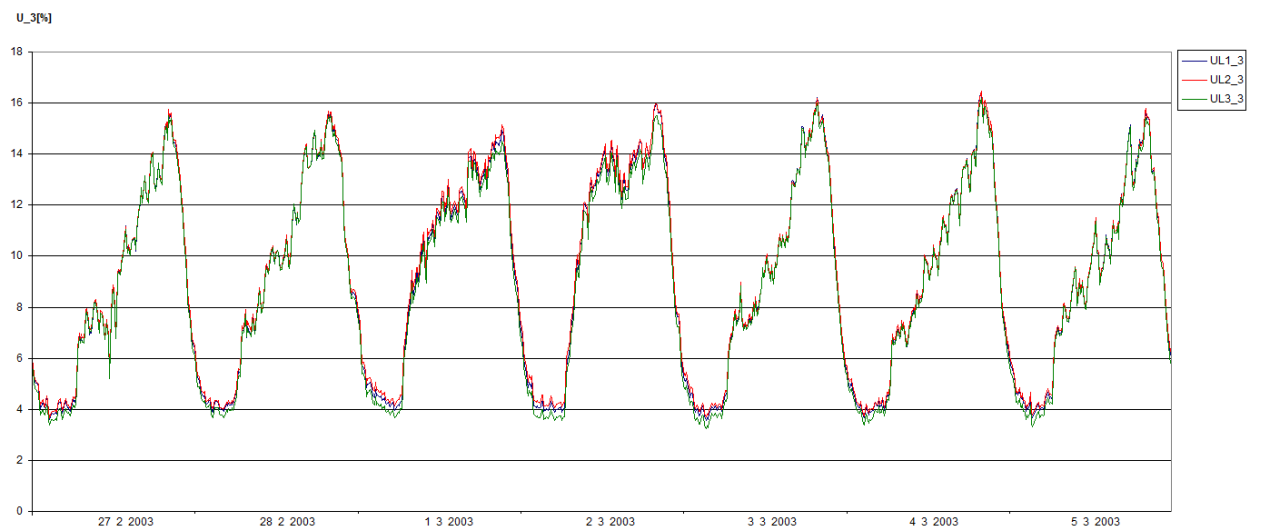
Tyto velké hodnoty celkové činitele zkreslení napětí THDu jsou způsobeny třetí a devátou harmonickou složkou, které překračují své dovolené meze ve značné míře. Tabulka 38 uvádí jak hodnoty jednotlivých harmonických ve všech třech fázích za sledovaný týden tak pro porovnání jednotlivé hraniční hodnoty udané normou ČSN EN 50160. Po porovnání změřených a dovolených mezních hodnot je vidět, že činitel THDu byl hlavně ovlivněn 3. harmonickou složkou, která svůj dovolený limit překročila trojnásobně, což je oproti předešlému roku zhoršení. U 9. harmonické nastalo také zhoršení, které ovšem nebylo tak markantní.



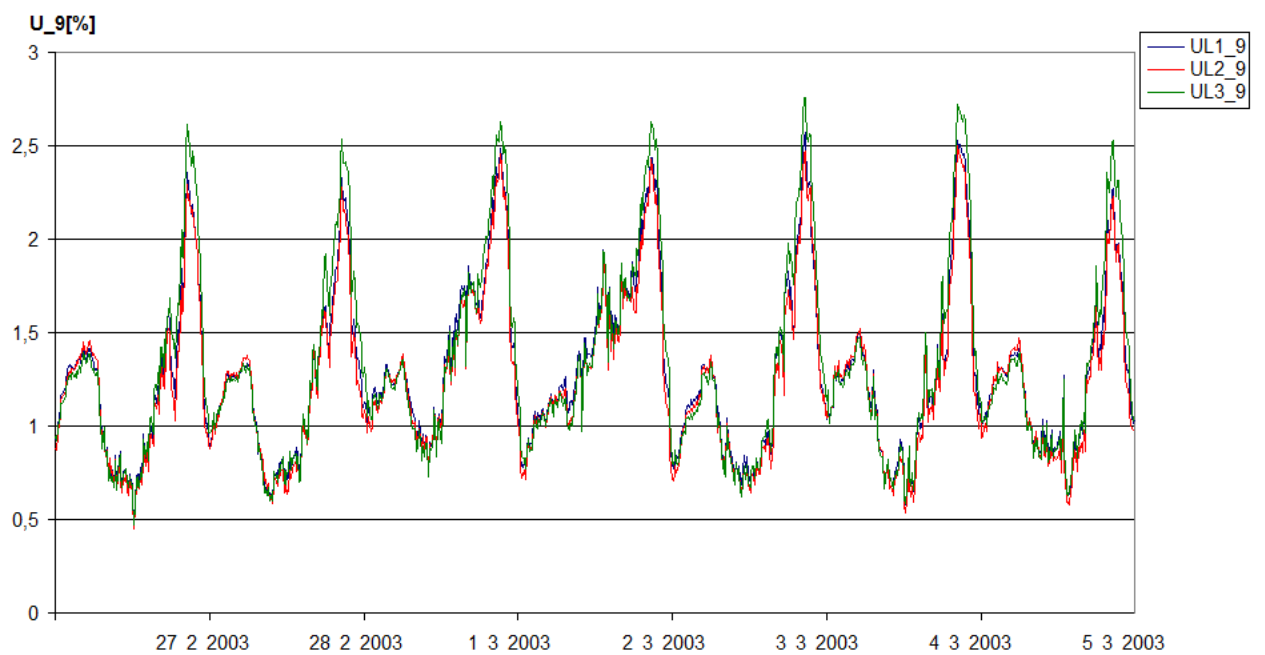
Tab. 43: Tabulka jednotlivých harmonických v místě OS-NN-2003

Řád harmonické	Dovolené harmonické napětí Uh	změřené harmonické napětí 1. fáze	změřené harmonické napětí 2. fáze	změřené harmonické napětí 3. fáze	Splňuje?
2	2%	0,305 %	0,294 %	0,294 %	ANO
3	5%	15,065 %	15,086 %	14,973 %	NE
4	1%	0,196 %	0,211 %	0,207 %	ANO
5	6%	4,482 %	4,873 %	4,773 %	ANO
6	0,5%	0,128 %	0,130 %	0,126 %	ANO
7	5%	2,044 %	1,676 %	2,316 %	ANO
8	0,5%	0,060 %	0,059 %	0,064 %	ANO
9	1,5%	2,218 %	2,158 %	2,441 %	NE
10	0,5%	0,053 %	0,051 %	0,055 %	ANO
11	3,5%	0,836 %	0,659 %	1,019 %	ANO
12	0,5%	0,036 %	0,033 %	0,042 %	ANO
13	3%	0,433 %	0,294 %	0,492 %	ANO
14	0,5%	0,024 %	0,023 %	0,025 %	ANO
15	0,5%	0,432 %	0,388 %	0,420 %	ANO
16	0,5%	0,023 %	0,021 %	0,028 %	ANO
17	2%	0,117 %	0,197 %	0,242 %	ANO
18	0,5%	0,015 %	0,014 %	0,020 %	ANO
19	1,5%	0,144 %	0,152 %	0,170 %	ANO
20	0,5%	0,013 %	0,012 %	0,016 %	ANO
21	0,5%	0,188 %	0,173 %	0,189 %	ANO
22	0,5%	0,012 %	0,109 %	0,015 %	ANO
23	1,5%	0,062 %	0,122 %	0,114 %	ANO
24	0,5%	0,009 %	0,009 %	0,012 %	ANO
25	1,5%	0,069 %	0,094 %	0,099 %	ANO

Následující grafy zobrazují 3. a 9. harmonickou a jejich průběh ve vybraném týdnu. Při porovnání obou grafů s grafem THDu je vidět jejich překročení dovolených hodnot ve stejných časových obdobích.



Obr. 51: graf nevyhovujícího průběhu 3. harmonické z OS-NN-2003



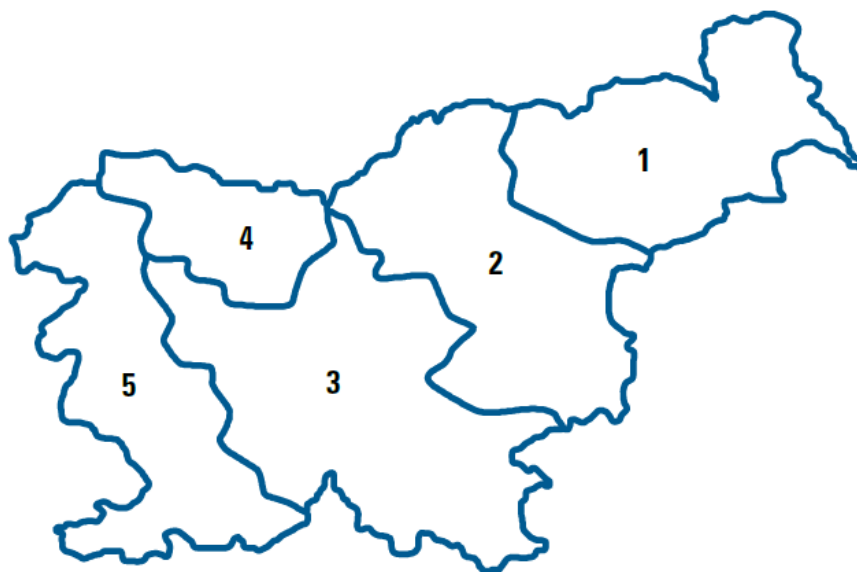
Obr. 52: graf nevyhovujícího průběhu 9. harmonické z OS-NN-2003

## 6. Kvalita elektrické energie v dalších zemích

Tato část diplomové práce je věnována vyhodnocení parametrů kvality elektrické energie ve Slovinsku a Portugalsku. Přesněji se jedná o parametry: frekvence, odchylky napájecího napětí, harmonická napětí, flikr  $P_{lt}$ , nesymetrie a napětí signálu v napájecím napětí. Pro tuto kapitulu byly použity data získané z dokumentu 5th CEER Benchmarking Report on the Quality of Electricity Supply 2011 [11].

### 6.1 Republika Slovinsko

V následující části uvádím hodnoty poklesů a dočasných zvýšení napětí v letech 2008 a 2009. Republika Slovinsko je v následujících tabulkách rozdělena do 5 oblastí, které jsou definovány na následujícím obrázku.



Obr. 53: Rozdělení Republiky Slovinsko

Tab. 44: Tabulka poklesů a dočasných zvýšení napětí za rok 2008 na hladině 10,20 a 35 kV

	Celkové množství poklesů a dočasných zvýšení napětí	
	Poklesy napětí	Dočasná zvýšení napětí
území 1	1937	56
území 2	6655	18871
území 3	6778	70
území 4	2249	16917
území 5	4999	3855

Tab. 45: Tabulka poklesů a dočasných zvýšení napětí za rok 2009 na hladinách 10,20 a 35 kV

	Celkové množství poklesů a dočasných zvýšení napětí	
	Poklesy napětí	Dočasná zvýšení napětí
území 1	3230	59
území 2	4112	6569
území 3	5850	109
území 4	1659	7809
území 5	4308	3208

Při porovnání tabulek pro rok 2008 a 2009 je vidět, že se hodnoty jak poklesů, tak dočasných zvýšení napětí snížily. Zatímco u poklesů napětí se jedná o necelých 3500 událostí, u dočasných zvýšení se jedná o snížení o 22000 událostí. Zatímco v roce 2008 byla největší míra poklesů napětí zaznamenána na území 3 s územím 2 v těsné blízkosti, v následujícím roce se celkový součet poklesů napětí na území 2 snížil podstatnou měrou. Naopak k největšímu zhoršení došlo na území 1. Území 2 bylo v roce 2008 také oblastí s největším počtem dočasných přepětí společně s územím 4. Razantní snížení výskytů zvýšení napětí v těchto dvou zónách v roce 2009 mělo největší dopad na celkový počet výskytů dočasných zvýšení napětí v tomto roce.

Tab. 46: Tabulka poklesů a dočasných zvýšení napětí za rok 2008 na hladině 110 kV

	Celkové množství poklesů a dočasných zvýšení napětí	
	Poklesy napětí	Dočasná zvýšení napětí
území 1	697	6
území 2	1124	3552
území 3	1610	6
území 4	480	178
území 5	1345	66

Tab. 47: Tabulka poklesů a dočasných zvýšení napětí za rok 2009 na hladině 110 kV

	Celkové množství poklesů a dočasných zvýšení napětí	
	Poklesy napětí	Dočasná zvýšení napětí
území 1	683	5
území 2	911	6621
území 3	1201	15
území 4	412	209
území 5	1127	100

Na hladině 110 kV došlo v letech 2008 a 2009 k mnohem menšímu výskytu těchto situací. Stejně jako tomu bylo na nižších napěťových hladinách i na této hladině byly v roce 2008 nejhorší území 3 a 2 u hodnot poklesů napětí a území 2 bylo dominantní ve výskytu dočasných zvýšení napětí. Pro následující rok byl snížen celkový počet snížení napětí o 900 událostí, ale bohužel došlo k obrovskému nárůstu dočasných zvýšení napětí (přes 3000 událostí) v oblasti 2.

Tab.48: Tabulka kvality elektrické energie za rok 2008 na hladinách 10,20 a 35 kV

	Hodnoty odchylek od dovolených hodnot [%]					
	Odchytky napájecího napětí	Harmonická napětí	Flikr	Nesymetrie	Napětí signálu v napájecím napětí	frekvence
území 1	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0
území 2	0,0	0,0	21,9	0,0	0,0	0,0
území 3	0,1	1,9	3,6	0,0	0,0	0,0
území 4	0,3	0,4	32,9	4,0	0,0	0,1
území 5	0,4	0,0	0,1	0,1	0,0	1,0

Pro rok 2008 došlo na napěťových hladinách 10, 20 a 35 kV k malým odchylkám napájecího napětí. Nejhorší situace nastala v oblasti 5, zatímco území 1 a 2 byly po celý rok v pořádku. Pro harmonická napětí došlo k velkému překročení na území číslo 3. Toto je způsobeno velkou rozlohou území, které obsahuje množství průmyslových závodů nejen v oblasti hlavního města Ljubljana, ale celkově. K překročení flikru došlo ve 4 oblastech s nejhorším výsledkem na území 4. Tato oblast byla nevyhovující také v parametru nesymetrie. Frekvence byla nevyhovující jak na území 4 tak 5 což odpovídá spíše průmyslově zaměřenému západu země.

Tab.49: Tabulka kvality elektrické energie za rok 2009 na hladinách 10,20 a 35 kV

	Hodnoty odchylek od dovolených hodnot [%]					
	Odchytky napájecího napětí	Harmonická napětí	Flikr	Nesymetrie	Napětí signálu v napájecím napětí	frekvence
území 1	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0
území 2	0,0	0,0	19,1	0,0	0,0	0,0
území 3	0,0	0,1	4,5	0,1	0,0	0,0
území 4	0,0	0,0	41,5	0,0	0,0	0,0
území 5	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1

Oproti předešlému roku došlo ke značnému zlepšení v dodržování limitu napájecího napětí, kde území 5 jako jediné překročilo povolené meze. Odchytky harmonických napětí se v oblasti 3 zlepšily, ale došlo k jejich razantnímu zhoršení na východním území 1. Problémy s flikrem přetrvávaly ve všech 4 oblastech, kde v oblasti 4 došlo k velkému zhoršení o necelých 9%. Naopak se zlepšila nesymetrie v této části státu a k překročení limitu došlo pouze v oblasti 3. Napětí signálů nasuperponovaných na sinusovce napájecího napětí zůstaly jako v předešlém roce v normě a hodnoty překročení frekvence se zlepšily ve všech oblastech.

Tab. 50: Tabulka kvality elektrické energie za rok 2008 na hladině 110 kV

	Hodnoty odchylek od dovolených hodnot [%]					
	Odchytky napájecího napětí	Harmonická napětí	Flikr	Nesymetrie	Napětí signálu v napájecím napětí	frekvence
území 1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
území 2	0,0	0,0	25,6	0,0	0,0	0,0
území 3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
území 4	0,0	0,0	94,6	0,0	0,0	0,0
území 5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6

Na hladině 110 kV byly na Slovensku problémy pouze s flikrem a dodržováním limitů frekvence. Překročení dovolené hodnoty flikru  $P_{fl}$  v části 4 o 94,6% vypovídá o velkých problémech. Území 5 překročilo stejně jako na hladinách 10,20 a 35 kV dovolené rozmezí frekvence.

Tab. 51: Tabulka kvality elektrické energie za rok 2009 na hladině 110 kV

	Hodnoty odchylek od dovolených hodnot [%]					
	Odchytky napájecího napětí	Harmonická napětí	Flikr	Nesymetrie	Napětí signálu v napájecím napětí	frekvence
území 1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
území 2	0,0	0,0	23,1	0,0	0,0	0,0
území 3	0,0	0,0	5,4	0,0	0,0	0,0
území 4	0,0	0,0	86,7	0,0	0,0	0,0
území 5	0,3	0,0	0,1	0,0	0,0	0,6

V porovnání s rokem 2008 došlo v problémových oblastech 2 a 4 ke snížení překročení dovolených limitů, ale bohužel byla překročena dovolená hodnota udaná normou ČSN EN 50160, kdy se nesmí hodnota dlouhodobé míry vjemu flikru  $P_{fl}$  pohybovat po 95% času nad hodnotou 1. Překročení frekvence bylo opět změřeno na území 5 a nedošlo k jeho změně.

## 6.2 Portugalsko

Pro Portugalsko jsou zde uvedeny 3 tabulky pro přenosovou síť (60 a 150 kV). V těchto tabulkách jsou uvedeny počty poklesů napětí pro jednotlivé roky a to v rozmezí od 2007 do 2009.

Pro rok 2007 platí následující tabulka. Jedná se pouze o průměrné hodnoty poklesů napětí, které byly získány z měření na 5 připojených místech rozvodné soustavy na napěťové hladině 60 kV. Je vidět že valná většina poklesů se stala ve velmi malém časovém úseku 10 až 100 ms a napětí se pohybovalo v rozmezí 80 až 90%. Celkově se většina zjištěných poklesů pohybovala buď v tomto časovém anebo napěťovém rozpětí.

Tab. 52: Tabulka poklesů napětí za rok 2007 na hladině 60 kV

Zbytkové napětí [%]	Délka trvání [ms]					
	$10 \leq t \leq 100$	$100 < t \leq 250$	$250 < t \leq 500$	$500 < t \leq 1000$	$1000 < t \leq 3000$	$3000 < t \leq 20000$
$90 > u \geq 80$	122	31	14	4	3	0
$80 > u \geq 70$	23	18	7	1	1	0
$70 > u \geq 60$	30	12	2	1	1	0
$60 > u \geq 50$	23	2	1	0	0	0
$50 > u \geq 40$	15	1	3	1	0	0
$40 > u \geq 30$	22	0	1	0	0	0
$30 > u \geq 20$	14	0	0	1	0	0
$20 > u \geq 10$	3	1	0	0	0	0
$10 > u \geq 1$	0	0	0	0	0	0

V roce 2008 proběhlo měření na celkově 7 připojovacích bodech přenosové sítě na hladinách 60 a 150 kV. V porovnání s rokem 2007 je vidět mnohem větší rozložení poklesů napětí jak v časové

tak amplitudové oblasti. Nejčastější výskyt poklesů napětí byl opět v časové oblasti 10 až 100 ms. Oproti roku 2007 se tyto poklesy nepohybovaly v rozmezí 80 až 90% zbytkového napětí, ale v mnohem nižší oblasti 20 až 30%. Nejnepříznivější stav se posunul z 60 až 70% s délkou trvání 1 až 3 sekundy do části kde napětí bylo v rozmezí pouze 1 až 10 % a to po délku 20 až 60 sekund.

*Tab. 53: Tabulka poklesů napětí za rok 2008 na hladině 60 a 150kV*

Zbytkové napětí [%]	Délka trvání [ms]						
	10≤t≤100	100<t≤250	250<t≤500	500<t≤1000	1000<t≤3000	3000<t≤20000	20000≤t≤60000
90>u≥80	24	16	9	2	1	1	0
80>u≥70	19	4	3	7	1	0	0
70>u≥60	13	4	2	1	1	0	0
60>u≥50	9	4	2	0	1	0	0
50>u≥40	21	1	1	1	0	0	0
40>u≥30	18	0	2	0	0	0	0
30>u≥20	28	3	1	0	0	0	0
20>u≥10	6	0	1	1	0	0	0
10>u≥1	4	0	1	2	0	2	1

Ze získaných hodnot za rok 2009 je vidět posun výskytů poklesů napětí do částí s vyšší amplitudou zbytkového napětí. Dále je viditelný větší výskyt v oblasti s větší délkou trvání jak ve srovnání s rokem 2007 tak s rokem 2008.

*Tab. 54: Tabulka poklesů napětí za rok 2009 na hladině 60 a 150kV*

Zbytkové napětí [%]	Délka trvání [ms]						
	10≤t≤100	100<t≤250	250<t≤500	500<t≤1000	1000<t≤3000	3000<t≤20000	20000≤t≤60000
90>u≥80	35	21	4	2	6	3	0
80>u≥70	20	8	2	6	2	0	0
70>u≥60	9	5	2	7	1	2	0
60>u≥50	10	2	2	1	1	1	0
50>u≥40	7	1	0	0	1	1	0
40>u≥30	7	1	1	1	1	0	0
30>u≥20	4	2	3	0	0	0	0
20>u≥10	5	0	1	0	0	0	0
10>u≥1	2	0	0	1	0	0	0

## 7. Závěr:

Účelem teoretické části této práce bylo sepsání charakteristik a jejich dovolených mezí pro hladiny nízkého, vysokého a velmi vysokého napětí a určení rušivých jevů nejen v České republice, ale ve světě. V úvodní kapitole jsou vypsány důležité informace související s kvalitou elektrické energie a faktory, které ji ovlivňují. Kvalitativní požadavky na elektrickou energii určuje především norma ČSN EN 50160, dále pak některé normy elektromagnetické kompatibility, pravidla provozování distribuční soustavy a kodex přenosové soustavy.

V kapitole číslo dvě jsou popsány jednotlivé parametry, které kvalitu elektrické energie ovlivňují. Jsou to: kmitočet sítě, velikost napájecího napětí, odchylky napájecího napětí, rychlé změny napájecího napětí – flikr, krátkodobé poklesy napájecího napětí, krátkodobá a dlouhodobá přerušení napájecího napětí, dočasná a přechodná napětí, nesymetrie napájecího napětí, harmonická napětí, mezipřeharmonická napětí a úroveň napětí signálů v napájecím napětí. Pro jednotlivé parametry jsou uvedeny dovolené limity, jejichž překročení má za následek zhoršení kvality elektrické energie.

V navazující části jsou uvedeny příklady rozdílů v dovolených limitech jednotlivých parametrů kvality elektrické energie, které platí v České republice a v dalších zemích světa. Jsou zde uvedeny příklady hlavně blízkých zemí - ležících v Evropě. Jsou zde dále uvedeny i pro porovnání země jako je Čína nebo Jihoafrická republika.

V třetí kapitole jsou uvedeny příklady přístrojů používaných pro měření a zaznamenávání parametrů kvality elektrické energie. Jednotlivé přístroje se od sebe liší v mnoha ohledech jako je jejich třída, přesnosti daná normou IEC 61000 - 4 - 30, nebo účel.

Čtvrtá kapitola se zabývá daty měřeními ve čtyřech daných oblastech s nevyhovujícími parametry kvality a jejich následnou analýzou. Měření v jednotlivých lokalitách trvalo různě dlouho v různých obdobích. Pro vyhodnocení dat bylo kromě jednoho případu použito týdenní měření, jak určuje norma ČSN EN 50160. Tabulka 55 uvádí vypočtené hodnoty parametrů jednotlivých měření. Pro parametry napětí, flikr a celkový činitel zkreslení napětí THDu jsou hodnoty v této tabulce uvedeny jako průměrné hodnoty spočtené z hodnot všech tří fází. Hodnoty překračující dovolené hodnoty jsou zvýrazněny tučným písmem. K překročení limitů hodnot došlo pouze v Opavě na hladině vysokého napětí, kdy naměřené hodnoty v průběhu let 2001 až 2007 pomalu klesaly. Stejný trend je vidět i u parametru dlouhodobé míry vjemu flikru  $P_{fl}$ . S tímto problémem se potýkala většina vybraných lokalit. Na hladinách nízkého a vysokého napětí bylo překročení hodnot flikru nepatrné. S nevyhovujícími hodnotami se potýkala Ostrava po celou dobu měření a docházelo celkově k vzrůstu těchto hodnot. K překročení limitu flikru  $Plt$  došlo také v Přerově v roce 2012. V Přerově a Opavě došlo také k výraznému překročení dovolené meze nesymetrie. V Opavě došlo k lehkému snížení a v Přerově k zřetelnému zhoršení mezi léty 2008 a 2012. K překročení dovolené meze činitele harmonického zkreslení došlo pouze v Ostravě a to ve všech měřených obdobích. Celkově docházelo v tomto ohledu ke zřetelnému zhoršení situace. Toto bylo nejdříve způsobeno překročením limitu pouze 3. harmonické a v následujících měřeních i 9. harmonickou.



Tab. 55: Tabulka výsledných hodnot

	Napětí [V]	Flikr $P_{lt}$ [-]	Nesymetrie [%]	THDu [%]
FM-NN-1	240,401	<b>1,065</b>	0,371	3,733
FM-NN-2	246,779	<b>1,055</b>	0,240	4,066
FM-VN	23277	<b>1,086</b>	0,24	2,681
FM-VVN	68487	<b>1,218</b>	0,31	1,021
OP-VN-2-2001	<b>25530</b>	<b>11,586</b>	<b>2,94</b>	2,911
OP-VN-2-2004	<b>25361</b>	0,301	<b>2,99</b>	1,281
OP-VN-1-2007	23124	<b>1,065</b>	0,41	1,306
OP-VN-2-2007	<b>24909</b>	0,354	<b>2,77</b>	1,235
PR-VN-2008	20479	0,87	<b>2,003</b>	1,482
PR-VN-2012	21400	<b>1,026</b>	<b>2,720</b>	1,05
OS-NN-1999	243,877	<b>2,549</b>	0,8	<b>11,266</b>
OS-NN-2002	242,133	<b>2,454</b>	0,730	<b>13,907</b>
OS-NN-2003	241,200	<b>2,621</b>	0,790	<b>16,113</b>

Určit příčiny překročení dovolených hodnot jednotlivých charakteristik napětí vyžaduje dobré znalosti měřené sítě a připojených zařízení. Pro omezení kolísání napětí a tedy snížení hodnot flikru se doporučuje omezení změn jalového výkonu připojením dynamických kompenzátorů nebo stabilizátorů. Pro snížení hodnoty nesymetrie je prvním a nejdůležitějším řešením přeskupení zátěží takovým způsobem, aby se stala daná soustava více symetrická. Za účelem snížení 3. harmonické a jejího násobku 9. harmonické složky napětí a tedy i činitele THD se jako vhodná varianta nabízí izolační transformátory.

Poslední kapitola se zabývá vyhodnocením dat států Republika Slovinsko a Portugalsko. V tabulkách jsou zobrazeny údaje o odchylkách frekvence, odchylkách napětí, harmonických napětí, flikru, nesymetrie, napětí signálu v napájecím napětí a poklesů a dočasných zvýšení napětí. Z tabulek je patrné snížení odchylek od dovolených hodnot většiny parametrů. Výjimku tvoří překročení dovolené hodnoty napájecího napětí mezi lety 2008 a 2009 na hladině 110 kV a zhoršení hodnot flikru na hladinách 10,20 a 35 kV ve stejném období.

## Literatura:

- [1] ČSN EN 50160 ed. 3 Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí. rok 2011
- [2] Kodex přenosové soustavy Část V. Bezpečnost provozu a kvalita na úrovni PS. [online] [citováno 15. října 2013] Dostupné z:  
[http://www.ceps.cz/CZE/Data/Legislativa/Kodex/Documents/2012/CastV\\_12\\_fin01.pdf](http://www.ceps.cz/CZE/Data/Legislativa/Kodex/Documents/2012/CastV_12_fin01.pdf)
- [3] Harmonické. [online] [citováno 18. října 2013] Dostupné z:  
[http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/FEI/EMC/sylaby/3\\_Harmonicke.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/FEI/EMC/sylaby/3_Harmonicke.pdf)
- [4] Vyhodnocení kvality dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice za rok 2009. [online] [citováno 17. října 2013] Dostupné z:  
[http://www.fccpublic.cz/konference/ebii\\_01\\_stefanek.pdf](http://www.fccpublic.cz/konference/ebii_01_stefanek.pdf)
- [5] Santarius P. červen 2007 Elektromagnetická kompatibilita [elektronický text]
- [6] Regulations relating to the quality of supply in the Norwegian power system. [online] [citováno 10. prosince 2013] Dostupné z: <http://faolex.fao.org/docs/pdf/nor68951E.pdf>
- [7] Pravidla provozování distribuční soustavy příloha 3. [online] listopad 2011 [citováno 2. prosince 2013] Dostupné z: [http://www.eru.cz/user\\_data/files/sdeleni\\_elektro2/PPDS/Pril3.pdf](http://www.eru.cz/user_data/files/sdeleni_elektro2/PPDS/Pril3.pdf)
- [8] Zajímavá čísla [online] [citováno 22. října 2013] Dostupné z:  
<http://www.ceps.cz/CZE/Media/Stranky/Zajimava-cisla.aspx>
- [9] Voltage quality regulation in Sweden. [online] [citováno 15. prosince 2013] Dostupné z:  
[http://pure.ltu.se/portal/files/33691043/CIRED2011\\_0168\\_final.pdf](http://pure.ltu.se/portal/files/33691043/CIRED2011_0168_final.pdf)
- [10] ČSN EN 61000-4-30 ed.2 Zkušební a měřicí technika-Metody měření kvality energie. rok 2009
- [11] 5th CEER Benchmarking Report on the Quality of Electricity Supply 2011 [online] duben 2012 [citováno 3. prosince 2013] Dostupné z:  
[http://www.ceer.eu/portal/page/portal/EER\\_HOME/EER\\_PUBLICATIONS/CEER\\_PAPERS/Electricity/Tab/CEER\\_Benchmarking\\_Report.pdf](http://www.ceer.eu/portal/page/portal/EER_HOME/EER_PUBLICATIONS/CEER_PAPERS/Electricity/Tab/CEER_Benchmarking_Report.pdf)
- [12] SMP a SMPQ [online] [citováno 28. února 2014] Dostupné z:  
<http://www.kmb.cz/index.php/cs/analyzatory-kvality/en-50160-smp-a-smpq>
- [13] Power Quality Analyzers [online] [citováno 28. února 2014] Dostupné z:  
<http://www.quantel.com.sg/sites/default/files/attachment/brochure-PQAen1-04.pdf>
- [14] PW 3198 [online] [citováno 2. března 2014] Dostupné z:  
[http://www.tequipment.net/assets/1/26/Documents/Hioki/3198\\_01\\_5PRO/3198\\_01\\_5pro\\_doc\\_1.pdf](http://www.tequipment.net/assets/1/26/Documents/Hioki/3198_01_5PRO/3198_01_5pro_doc_1.pdf)
- [15] Analyzátor kvality elektrické energie a spotřeby elektrické energie Fluke 437 řady II, 400 Hz [online] [citováno 3. března 2014] Dostupné z:  
<http://www.fluke.com/fluke/czcs/power-quality-tools/logging-power-meters/fluke-437-series-ii.htm?PID=73946>
- [16] PowerPad III Model 8435 [online] [citováno 4. března 2014] Dostupné z:  
<http://www.aemc.com/products/pdf/2136.41.pdf>
- [17] 3-Phase graphical power and harmonics analyzer [online] [citováno 5. března 2014] Dostupné z: <http://www.extech.com/instruments/resources/datasheets/PQ3470data.pdf>
- [18] PA4000 Power analyzer [online] [citováno 5. března 2014] Dostupné z:  
<http://www.tek.com/power-analyzer/pa4000>
- [19] MEg40 [online] [citováno 6. března 2014] Dostupné z: <http://www.e-mega.cz/meg-40>

- [20] ENA500 [online] [citováno 7. března 2014] Dostupné z: <http://www.elcom.cz/virtualni-instrumentace/produkty/bk-elcom2/clanek/367-ena500.html>
- [21] PowerGuide 4400 [online] [citováno 7. března 2014] Dostupné z: <http://dranetz.com/portable/powerguide-4400>
- [22] Quality of Supply standards: Is En 50160 the answer? [online] [citováno 5. prosince 2013] Dostupné z: <https://www.oasis-open.org/committees/download.php/37248/Power%20Quality%20White%20Paper%20from%20Schneider.pdf>
- [23] NRS 048-2:2003 ed. 2 Electricity supply - quality of supply Part 2: Voltage characteristics, compatibility levels, limits and assessment methods. rok 2003
- [24] DZS 387-1:2009 Electricity supply - power quality and reliability part 1: Overview of Implementation and minimum standards. rok 2009